管道完整性管理

冯庆善

2020年3月13日

冯庆善

材料学博士
国家“百千万”人才，
有突出贡献中青年技术专家，集团公司专家
管道大学堂组织者

- ISO/TC67/SC2/19345《管道完整性管理标准》负责人，第21工作组国际召集人
- 国家标准GB 32167《油气输送管道完整性管理规范》负责人

长期从事管道完整性技术研究与管理，中石油集团公司管道完整性管理标准体系的主要编写人，负责的管道完整性管理和在役管道检测、评价和修复技术等技术成果分别获得国家科技进步一等奖、 2012年全球管道奖、安监总局一等奖和集团公司科技进步一等奖等。在国内外刊物发表论文多篇，拥有多项专利，负责国内外多项技术研究，所主持的国际标准编写工作得到较多发达国家的认可和支持。技术及管理成果较好的解决了多项制约管道本质安全的问题，效果显著。

汇报提纲

一、管道完整性管理概要

二、管道完整性管理实践

三、管道完整性管理标准与法规

四、发展与讨论

管道虽然是最为最安全经济的油气输送模式，然而，一旦发生泄漏事故，后果往往会非常严重，因此，认识管道必须首先认识管道事故。

1、美国奥林匹克管道

1999年6月位于美国华盛顿州柏林海姆地区的奥林匹克汽油管道发生破裂，事故导致3个孩子死亡，2003年3月，奥林匹克公司因需要“赔偿总额超过7亿美元的刑事和民事索赔”破产。

2、11·22青岛东黄管道事故

２０１３年１１月２２日，中石化东黄输油管道因腐蚀破裂漏油，在处置过程中发生爆燃。事故共造成63人遇难，156人受伤，直接经济损失7.5亿元。该事故使管道安全引发了举国关注，也推动政府下决心加强监管。

3、台湾高雄气体燃爆事故

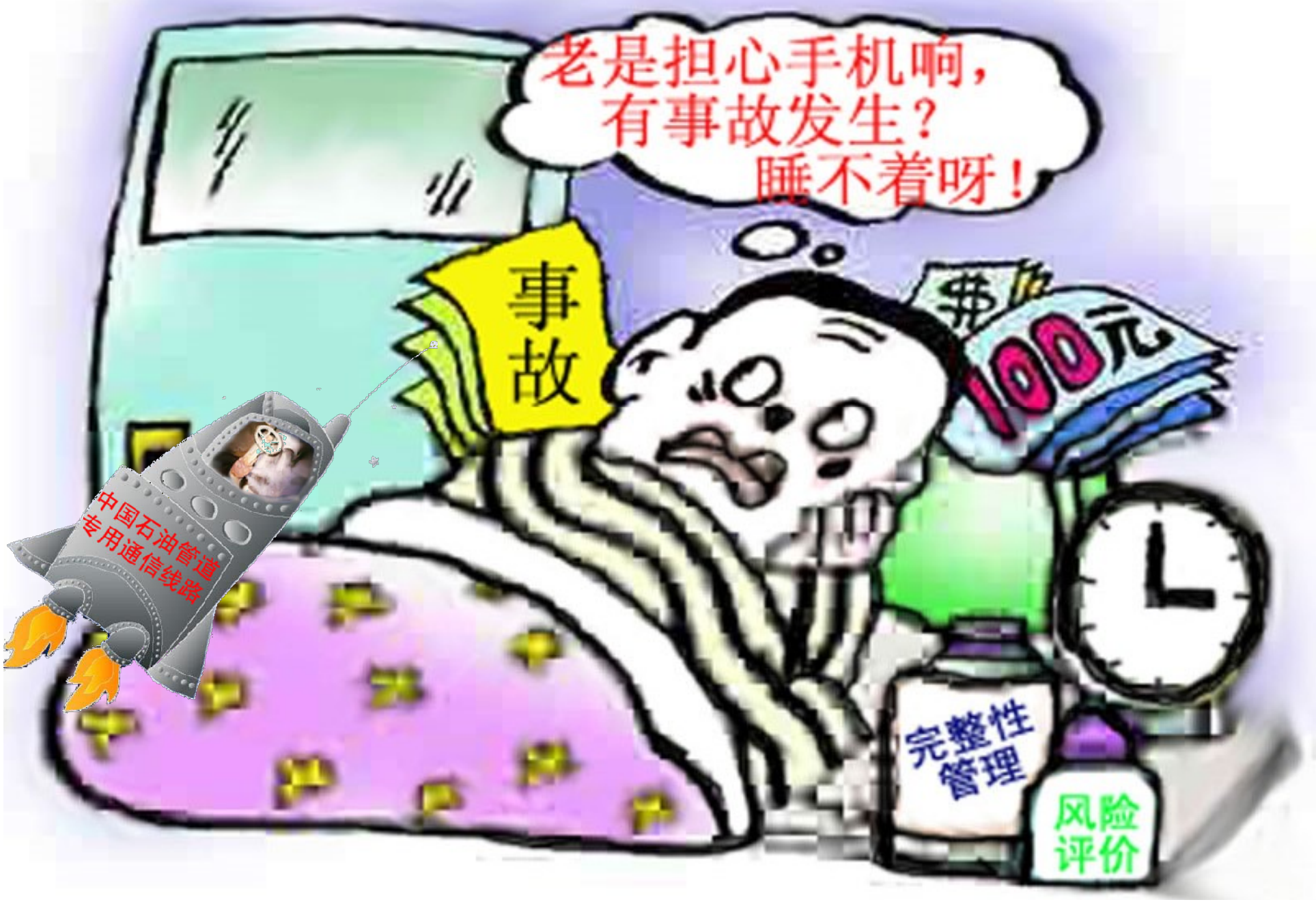
2014年7月31日晚间至8月1日凌晨，台湾高雄市前镇区发生可燃气体泄漏连环爆炸事故，造成32人死亡，321人受伤。事故最多时曾造成29789户停电、23642户停气、13500户停水、2680户停话、69座基地台损毁、1处加油站停业、98所学校停课，共影响32968户、83819人。

管道完整性管理的概念

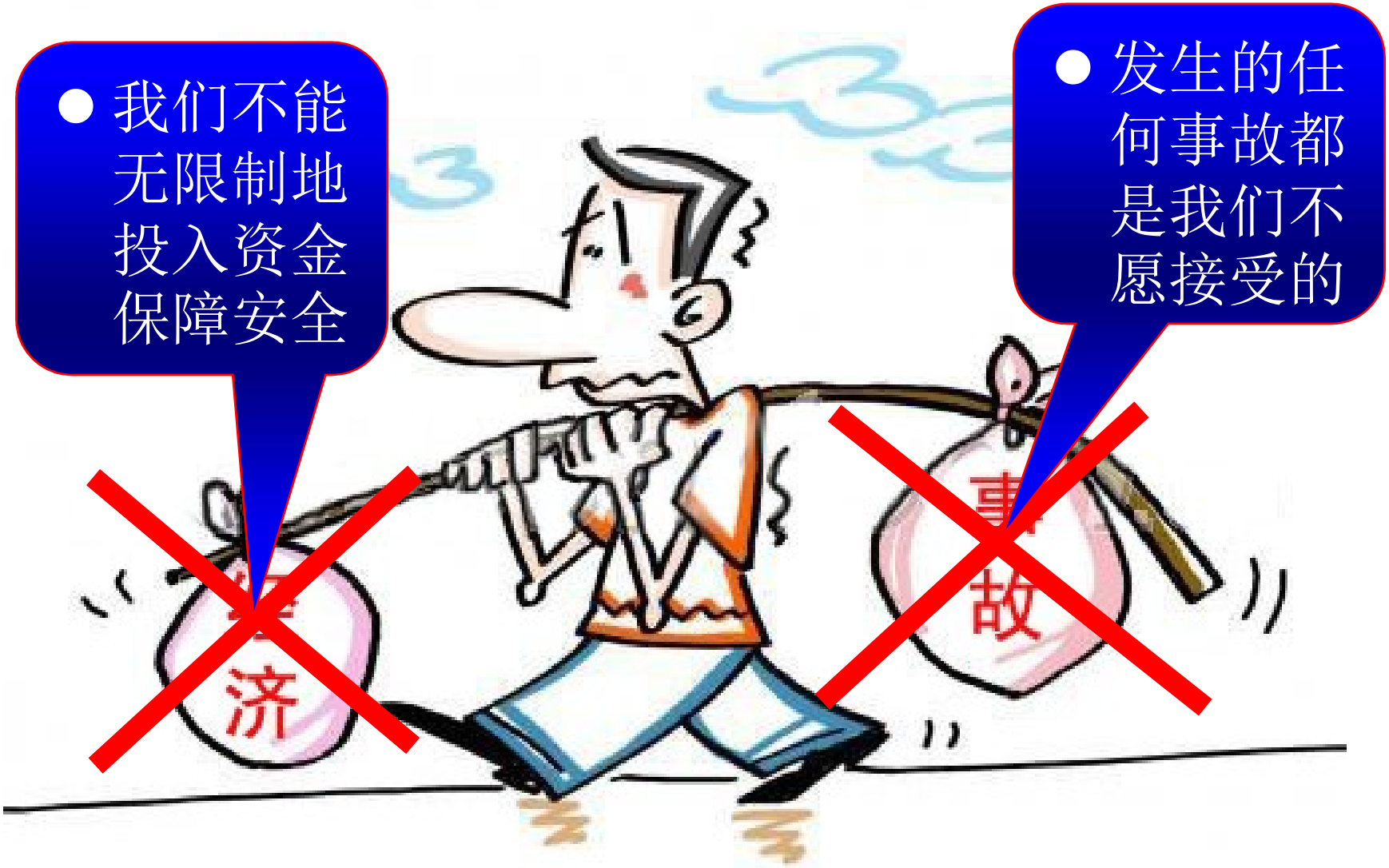
近年来国内外重大事故会给我们带来什么样的变革？

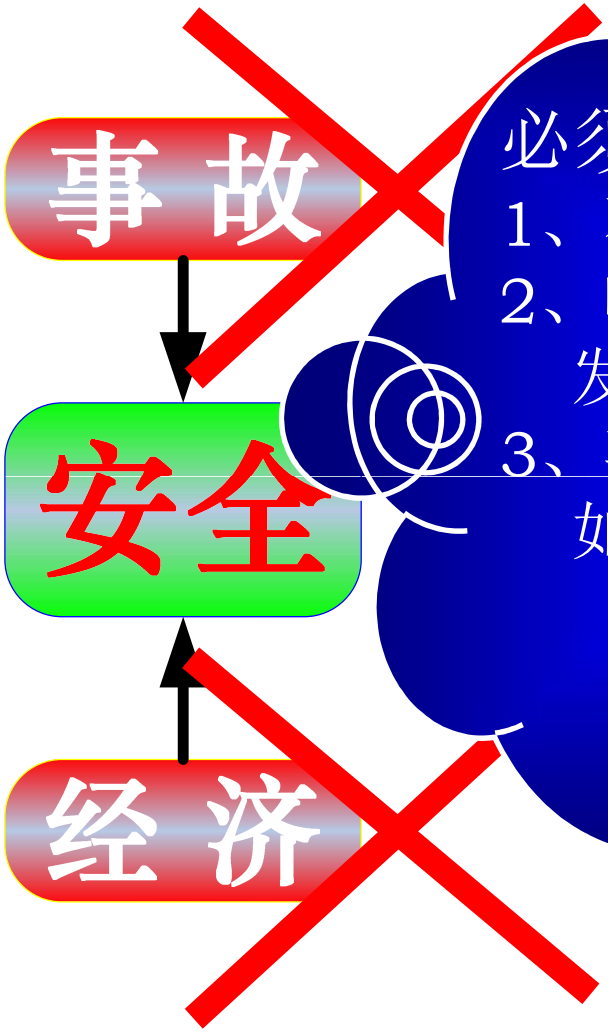
- 时有事故发生，事故处理难
- 管道情况复杂，安全隐患多
  - ✓新管道地质灾害多发
  - ✓管道打孔盗油不断发生
  - ✓管体缺陷的存在不清，焊缝管体频繁泄漏
  - ✓老管道腐蚀严重
- 国家和社会对管道安全要求提高

我们该如何应对？？？


老是担心手机响，
有事故发生？
睡不着呀！
事故
100元
中国石油管道
专用通信线路
完整性
管理
风险
评价

安全
经济
事故


● 我们不能无限制地投入资金保障安全
● 发生的任何事故都是我们不愿接受的
济
故



必须回答如下问题：

1、不能发生哪些事故？

2、哪些地区的管段不能发生事故？

3、事故是由什么引起的，如何控制？

1、不能发生哪些事故？

事故

↓

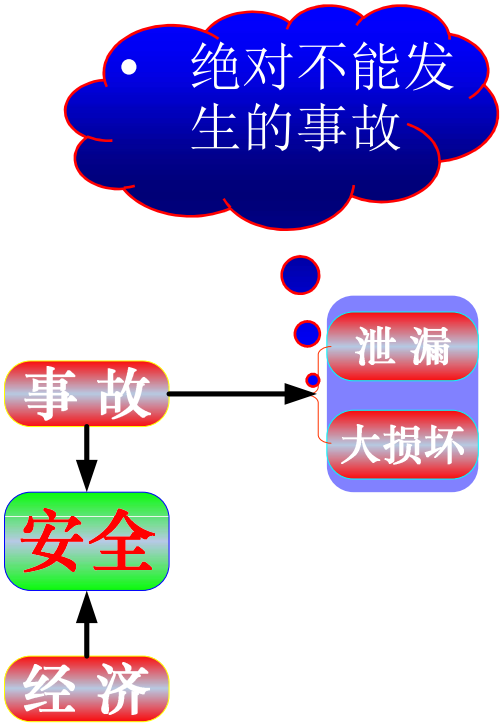
安全

↑

经济

泄漏

大损坏



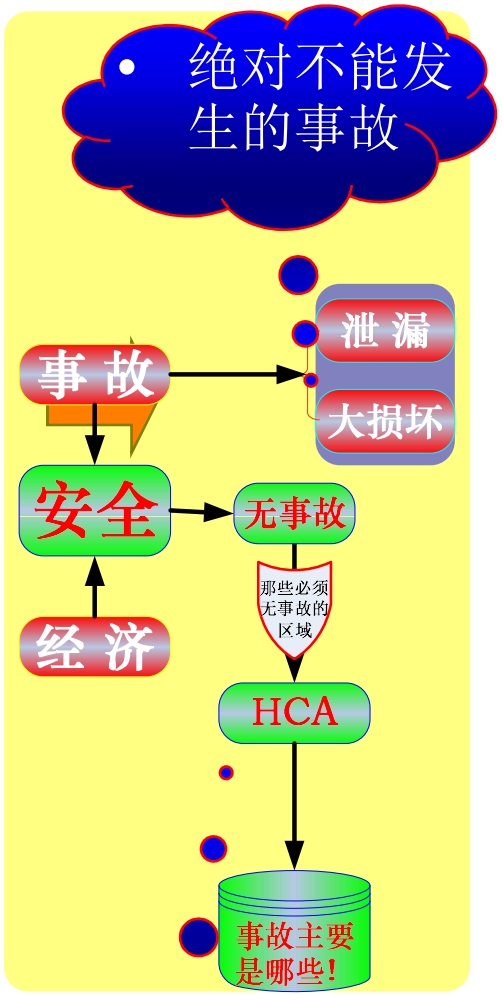
2、哪些地区的管段不能发生事故？

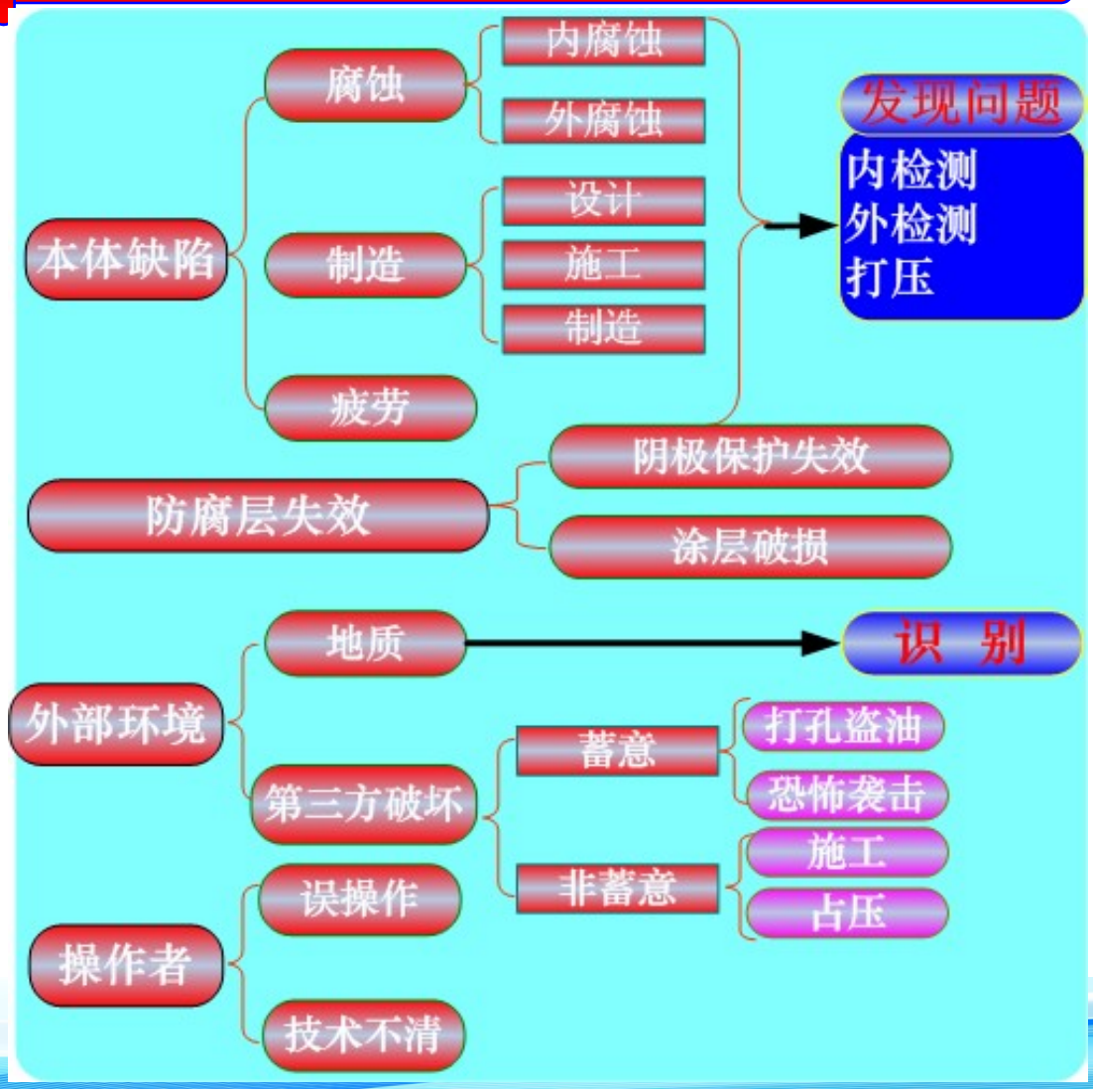
HCA

高后果区（HCA）

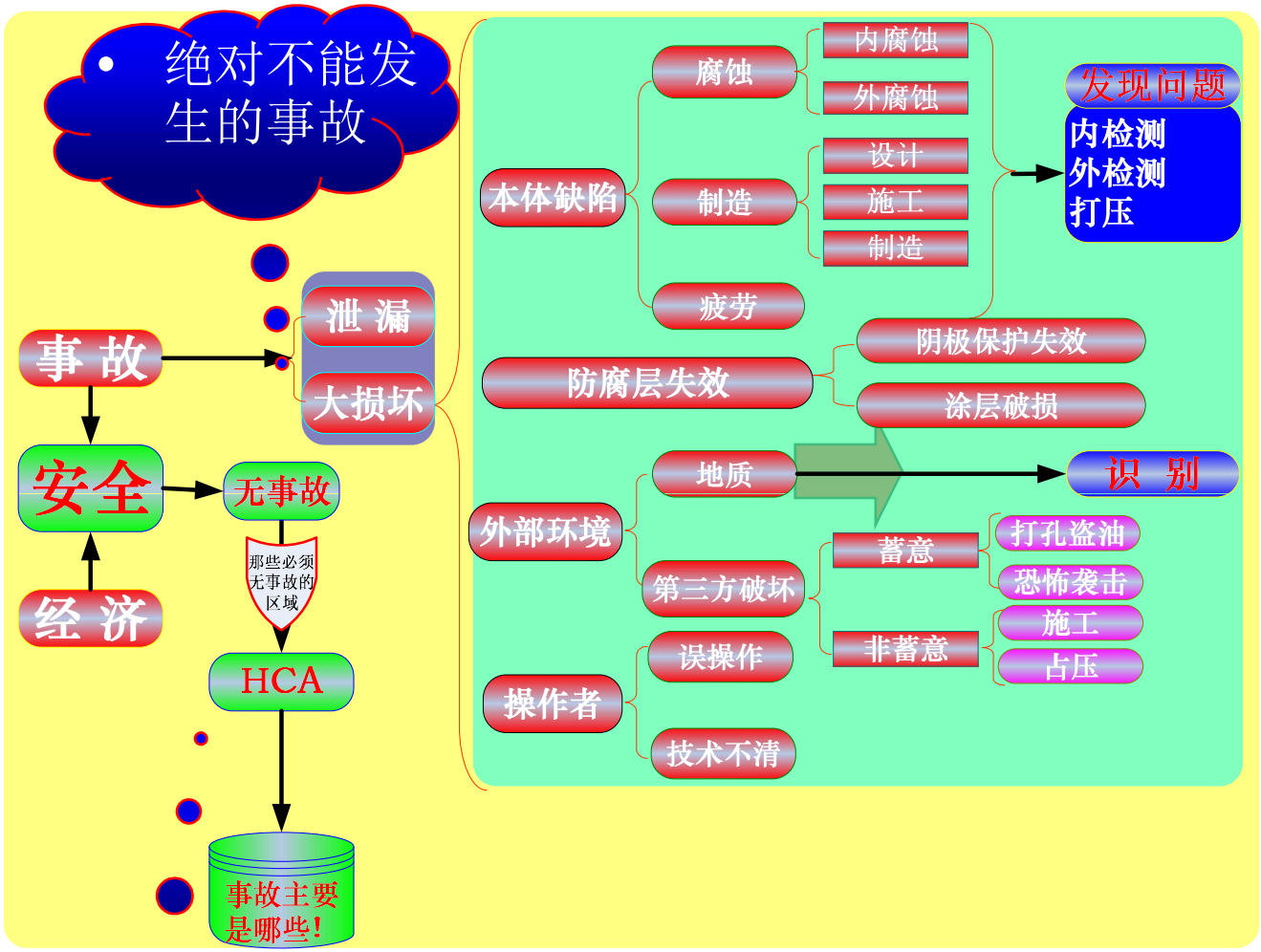
- 人口密集区
- 水源、江、河、湖泊等
- 。 。 。 。 。

3、事故是由什么引起的？





绝对不能发生的区域

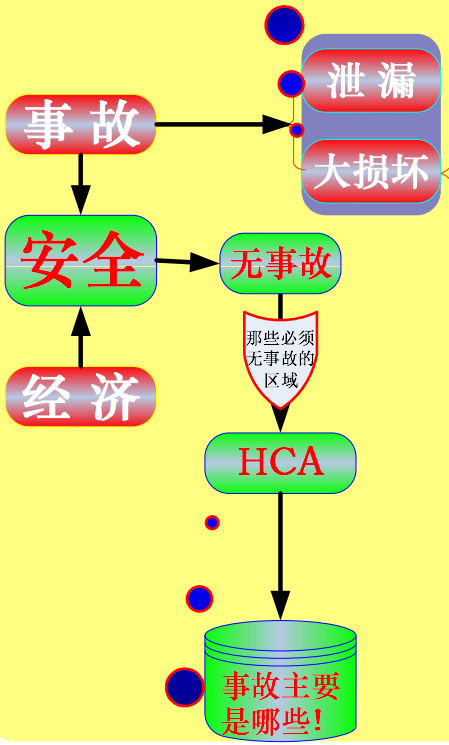

绝对不能发生的事故
事故
泄漏
大损坏
安全
无事故
经济
那些必须无事故的区域
HCA
事故主要是哪些！
本体缺陷
腐蚀
内腐蚀
外腐蚀
制造
设计
施工
制造
疲劳
发现问题
内检测
外检测
打压
防腐层失效
阴极保护失效
涂层破损
外部环境
地质
识别
第三方破坏
蓄意
打孔盗油
恐怖袭击
非蓄意
施工
占压
操作者
误操作
技术不清

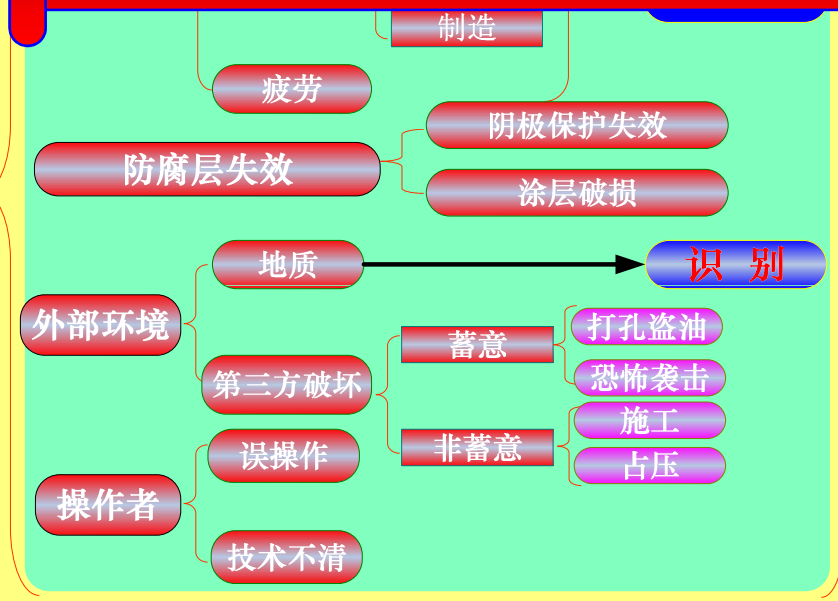
如何控制？
评价
找出原因
风险高低排序
最危险的位置
急需资金的地方

绝对不能发生的区域

- 绝对不能发生的事故

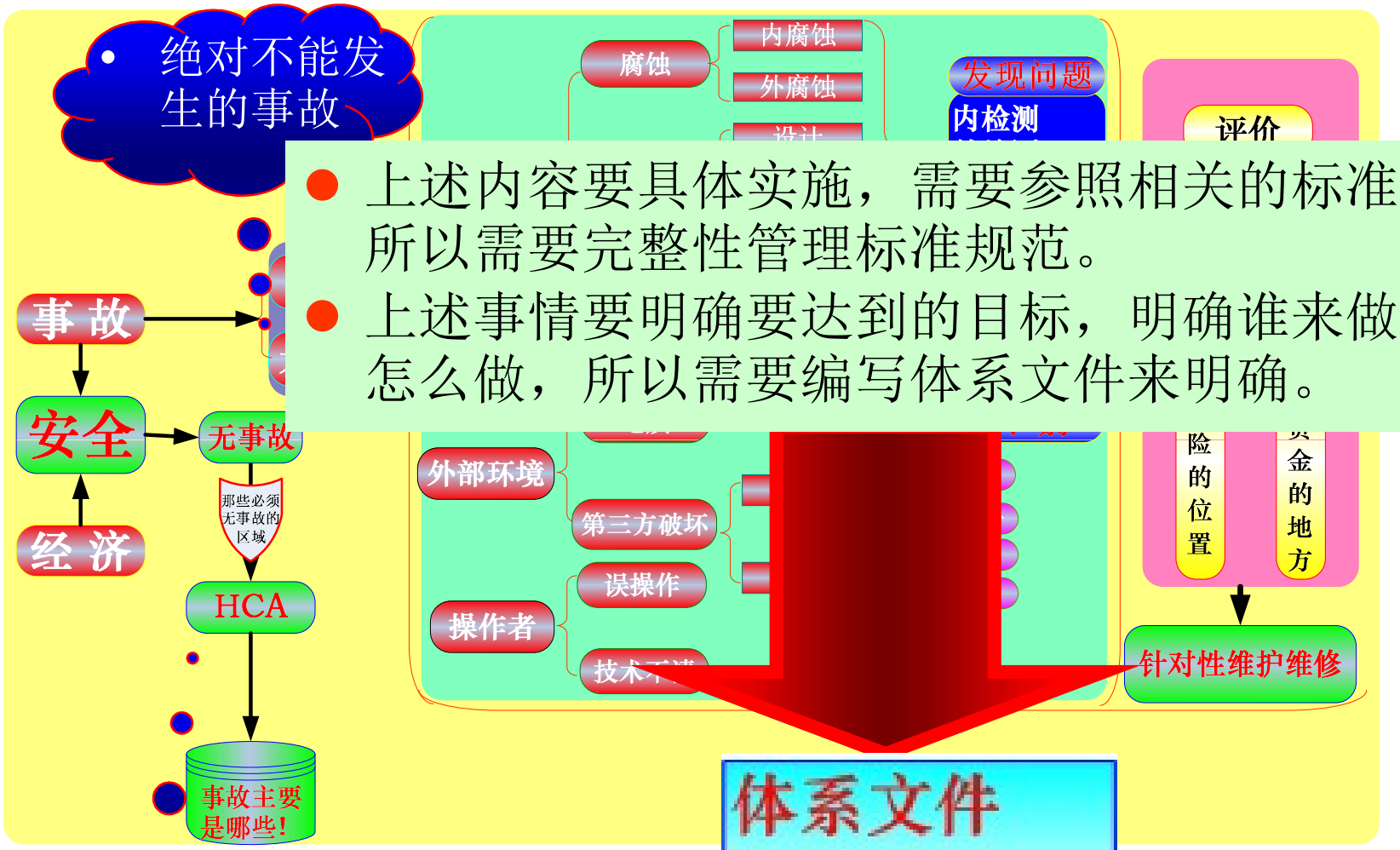
在隐患没有发展成事故前进行预防！





针对性维护维修

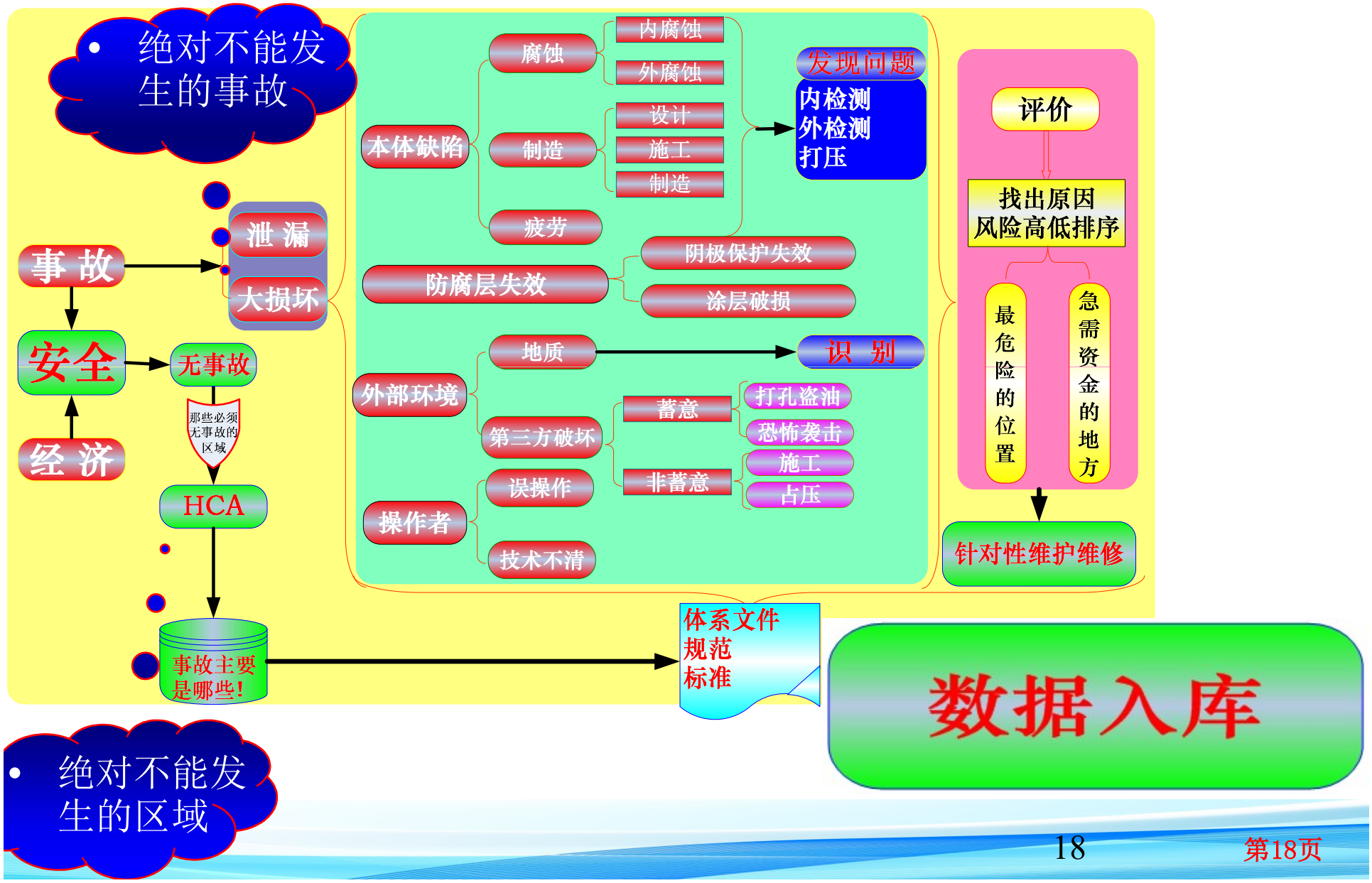
- 绝对不能发生的区域



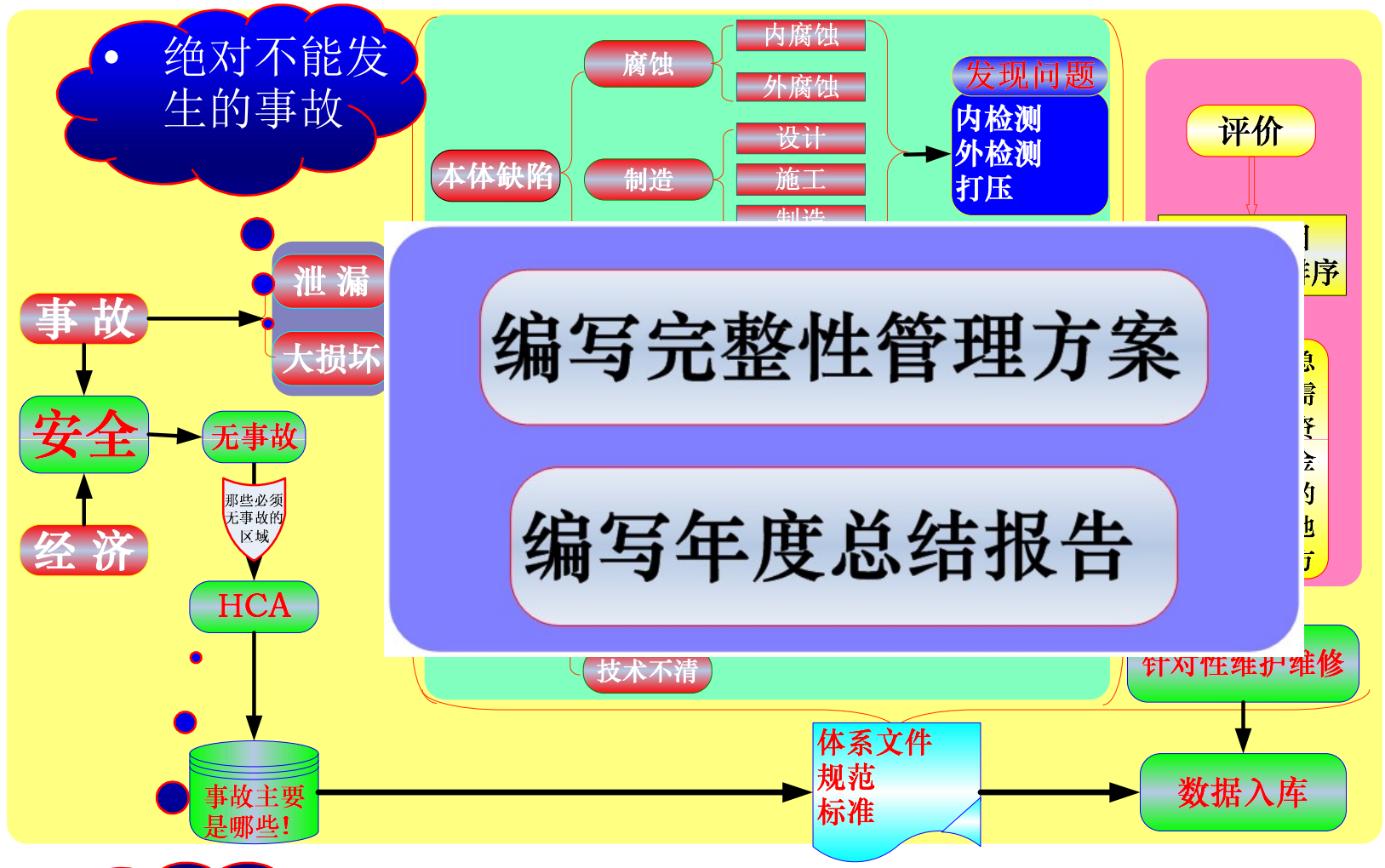
- 上述内容要具体实施，需要参照相关的标准来做，所以需要完整性管理标准规范。
- 上述事情要明确要达到的目标，明确谁来做，具体怎么做，所以需要编写体系文件来明确。

体系文件
规范
标准

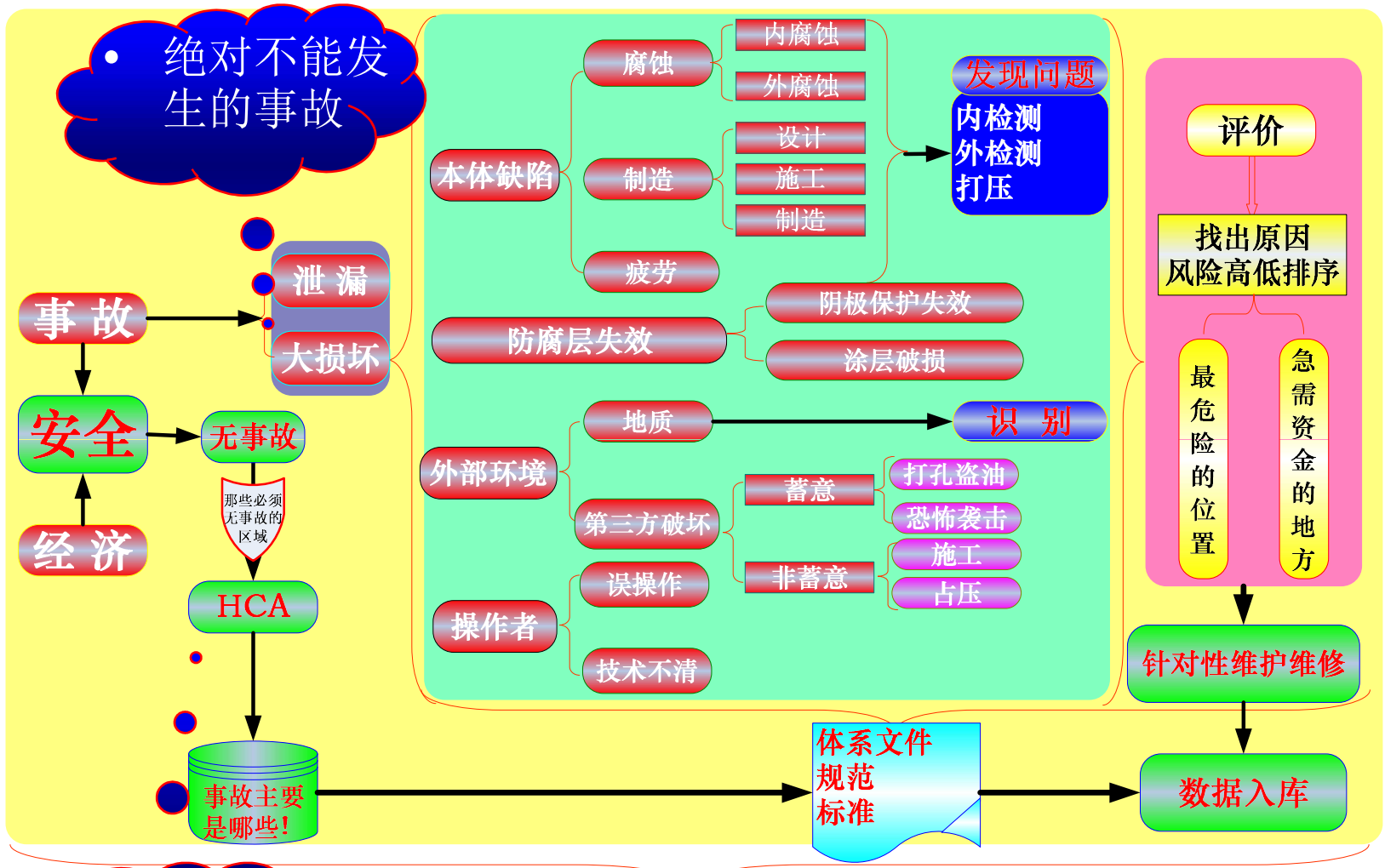
- 绝对不能发生的区域


绝对不能发生的事故
事故
泄漏
大损坏
安全
无事故
经济
那些必须无事故的区域
HCA
事故主要是哪些！
本体缺陷
腐蚀
内腐蚀
外腐蚀
制造
设计
施工
制造
疲劳
防腐层失效
阴极保护失效
涂层破损
外部环境
地质
识别
第三方破坏
蓄意
打孔盗油
恐怖袭击
非蓄意
施工
占压
操作者
误操作
技术不清
发现问题
内检测
外检测
打压
评价
找出原因
风险高低排序
最危险的位置
急需资金的地方
针对性维护维修
体系文件
规范
标准
数据入库

绝对不能发生的区域


绝对不能发生的事故
腐蚀
内腐蚀
外腐蚀
本体缺陷
制造
设计
施工
发现问题
内检测
外检测
打压
评价
泄 漏
大损坏
事 故
安全
无事故
经 济
那些必须无事故的区域
HCA
编写完整性管理方案
编写年度总结报告
技术不清
针对性维护维修
事故主要是哪些!
体系文件
规范
标准
数据入库

绝对不能发生的区域



- 绝对不能发生的区域

编写完整性管理方案

编写年度总结报告

Pipeline Integrity Management

管道完整性管理

Integrity,

condition of being whole or undivided,完整；整体*[牛津辞典]*

完整，

形容词，具有或保持着应有的各部分；没有损坏或残缺：领土完整/结构完整/这套书是完整的。*[现代汉语词典]*

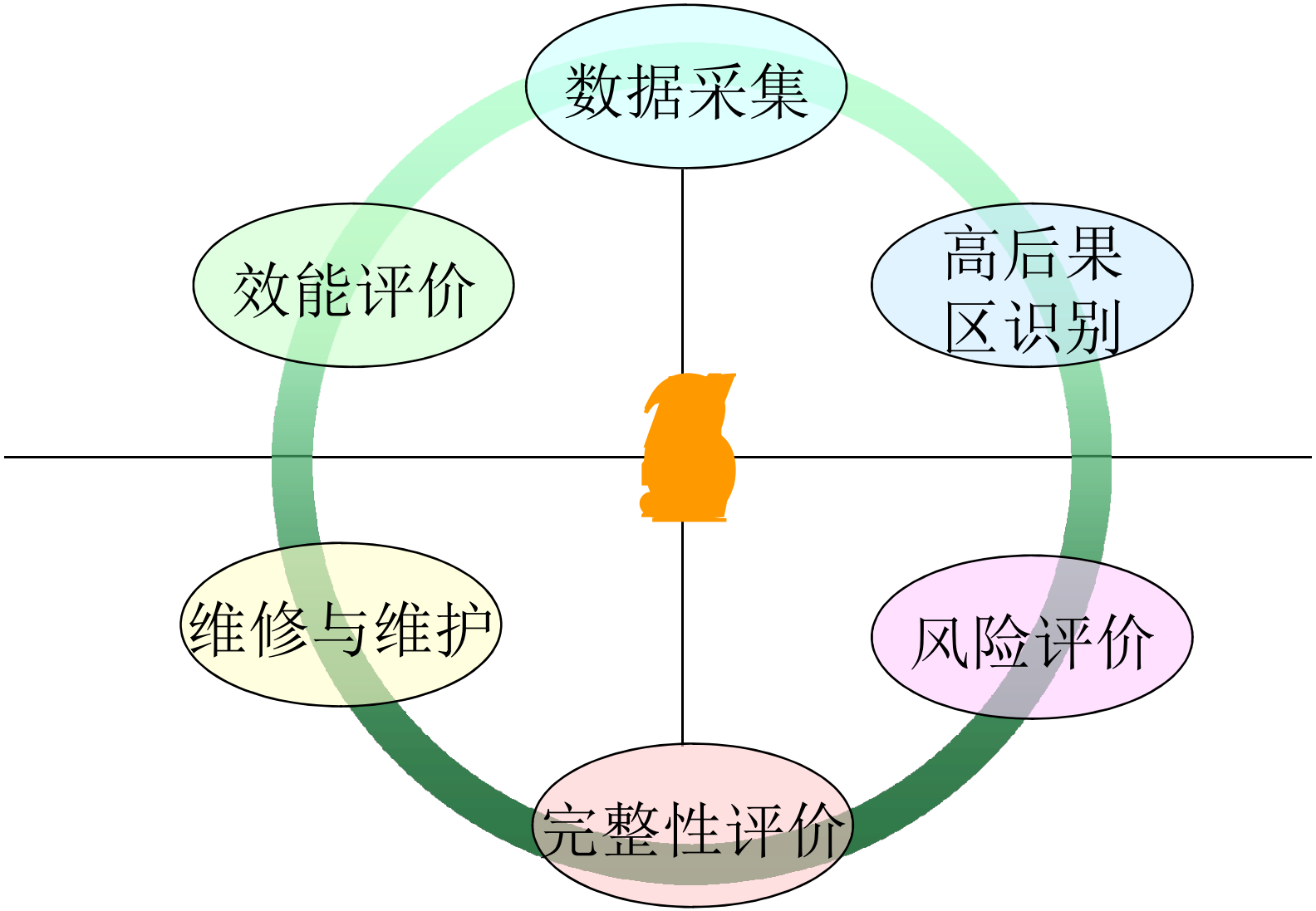
- 管道完整性则是指管道系统的各个部分在结构和功能上没有缺损，保持其整体性。

- 所谓管道完整性管理，简言之，就是为使管道保持其完整性而进行的系统的管理活动。

•管道完整性管理：

是一种以预防为主的管理模式，主要是通过对管道面临的风险因素进行识别和评价，针对性的实施风险减缓措施，将风险控制在合理、可接受的范围内，使管道始终处于可控状态，预防事故发生，保证管道安全经济的运行。

管道完整性管理的内容和流程



6

管道完整性管理的内容和流程

数据采集

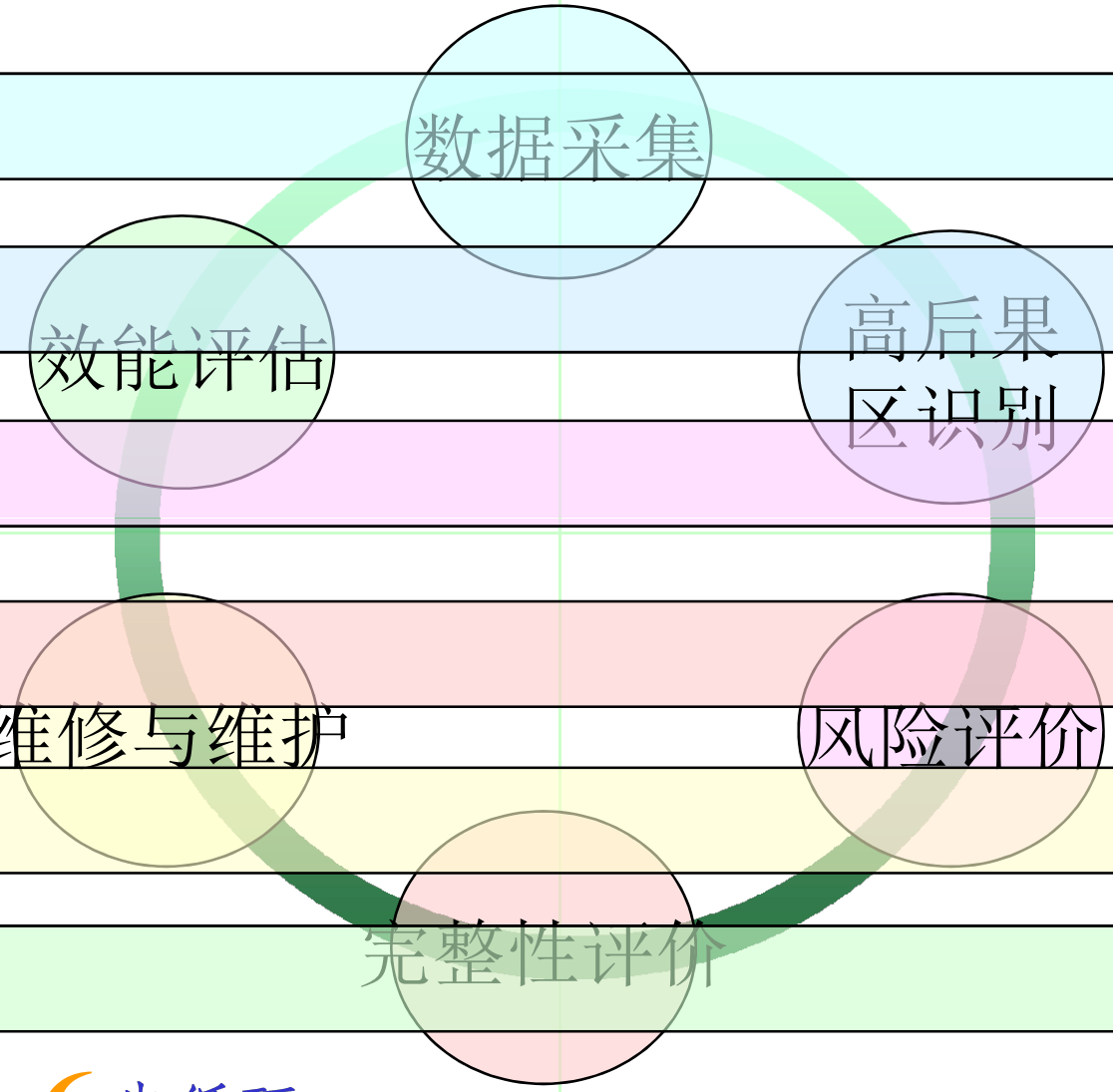
高后果区识别

风险评价

完整性评价

维修与维护

效能评估



管道完整性管理 6 步循环

管道完整性管理的内容和流程

	体系文件	标准规范	系统平台	支持技术	实施应用
数据采集	体系文件	标准规范	系统平台	支持技术	实施应用
高后果区识别					
风险评价					
完整性评价					
维修与维护					
效能评估					

管道完整性管理5个层次

管道完整性管理的概念

- 管道完整性管理的目标：
  - 管道始终处于安全可靠的工作状态；
  - 管道在物理上和功能上是完整的；
  - 管道处于受控状态；
  - 管道公司不断采取行动防止管道事故的发生。

- 管道完整性与管道的设计、施工、运行、维护、检修和管理的各个过程是密切相关的。

管道完整性管理的概念

- 管道完整性管理的原则：

✓ 在设计、建设和运行新管道系统时，应融入管道完整性管理的理念和做法；

✓ 结合管道的特点，进行动态的完整性管理；

✓ 建立负责进行管道完整性管理机构、管理流程、配备必要的手段；

✓ 对所有与管道完整性管理相关的信息进行分析整合；

✓ 必须持续不断的对管道进行完整性管理；

✓ 不断在管道完整性管理过程中采用各种新技术。

管道完整性管理的概念

•管道完整性管理的对象：

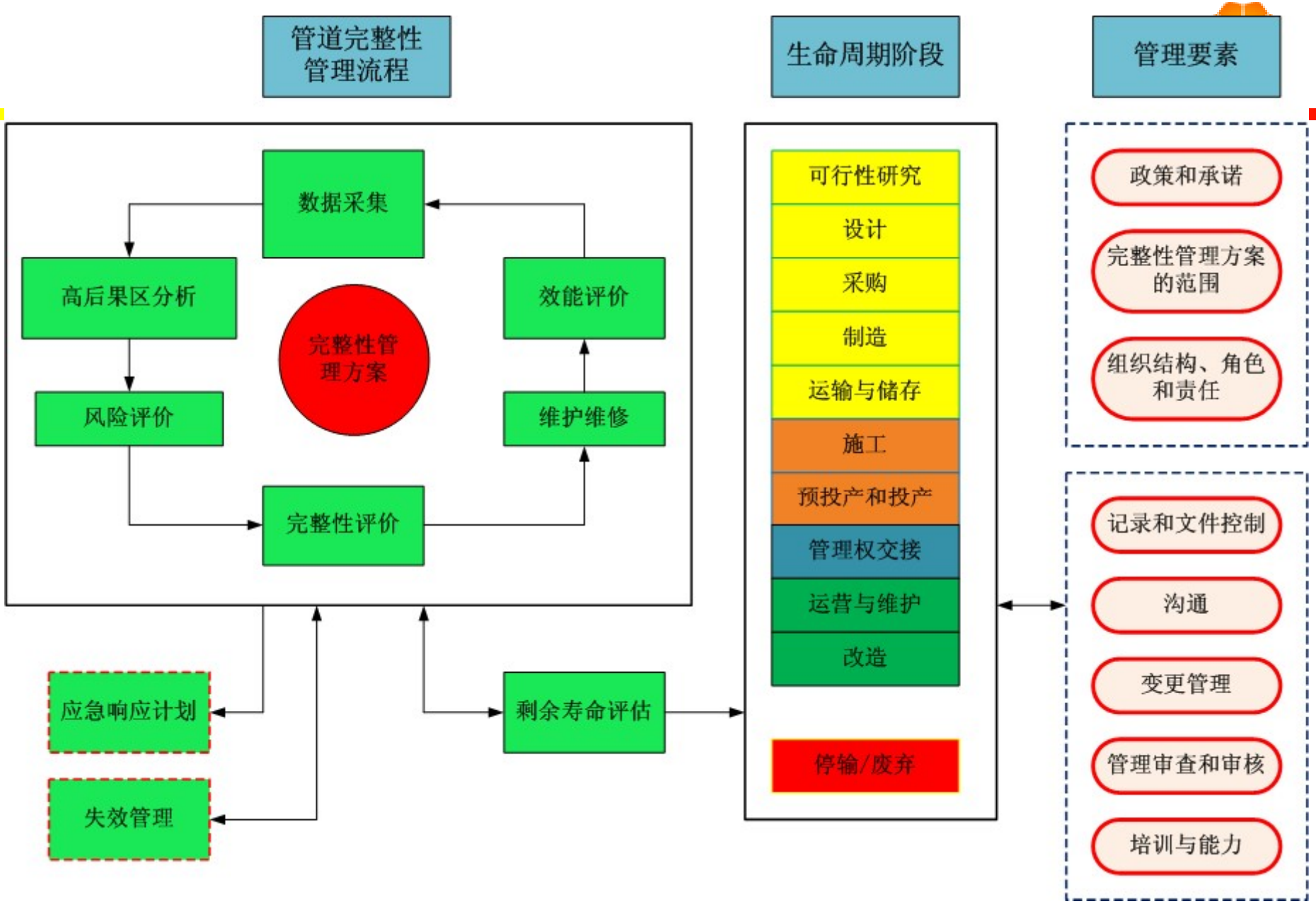
• 管道系统：

主体管道

储　　罐

站场管道

• 完整性管理主要针对的是主要结构主体实物。API /ASME标准中明确使用于管道系统，但主要给出管道线路的技术要求，对站场主要提出了基本原则，提出可以参照线路的做法。


管道完整性管理流程
生命周期阶段
管理要素
数据采集
高后果区分析
效能评价
完整性管理方案
风险评价
维护维修
完整性评价
应急响应计划
失效管理
剩余寿命评估
可行性研究
设计
采购
制造
运输与储存
施工
预投产和投产
管理权交接
运营与维护
改造
停输/废弃
政策和承诺
完整性管理方案的范围
组织结构、角色和责任
记录和文件控制
沟通
变更管理
管理审查和审核
培训与能力

管道完整性管理与传统管理的区别

传统的管理：被动的应对管理

老的做法 …… 被动应对 …… 从事故到事故

事故 → 管道的安全检查 → 改进或制定计划 → 没有事故 → 不更新计划 → 事故

完整性管理：主动的预防管理

新的做法 …… 主动预防 …… 无事故哲学

无事故 → 管道完整性管理系统 → 管道完整性审查 → 计划 → 无事故

基于管道详细数据的分析评价，找出安全隐患

管道完整性管理的发展历程

管道完整性管理不是生来就有的管理理念方法，是为应对管道事故、减少管道缺陷、提高管道管理水平的要求不断发展和完善形成的管理模式。

- 上世纪70年代

将经济学风险分析技术引入油气管道，通过对风险定量分析，最大限度地减少油气管道的事故发生率和尽可能地延长重要干线管道的使用寿命。

在风险评价、缺陷的内外检测技术、缺陷的剩余强度评价等各单项技术都得到了研究和发展。

-上世纪80年代

在内外检测、风险评价等基本成型，初步提出基于风险的管理概念。

– 上世纪90年代

连续发生的恶性管道事故，特别是**1999**年贝灵汉姆（**Bellingham**）管道泄漏爆炸事件后，社会公众对政府施加了很大的压力，促使相关安全管理规范大发展。从基于风险的管理理念，上升为事故预防式的完整性管理，形成了一整套管理理念，并颁布了**API 1160**和**ASME B31.8S** 两个标准，标志着完整性管理理念的基本成熟。

- 2002年

2002年11月美国国会通过H.R.3609号《管道安全促进法》，12月27日布什总统签署生效，明确要求管道公司在管道高后果区执行管道完整性管理：

要求管道公司定期采取内检测、压力试验和直接评估方法评价管道系统的完整性，并要求建立一套程序化的管理体制，最大限度地确保管道安全。

这标志着发达国家以IT信息化技术和管道评价技术为支撑的管道完整性管理体系基本形成，实现了管道管理的重大变革，并开始在全世界推广。

国外完整性管理标准和法规

美国：API 1160　ASME B31.8S

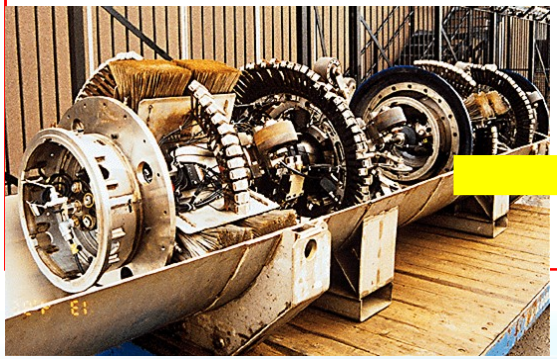
　　CFR（49）　192、195

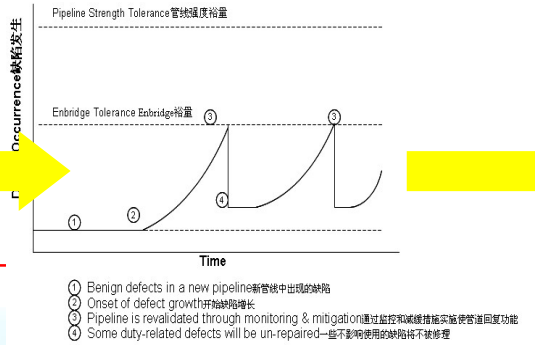
加拿大：CSAZ662-03 第10、11部分

英国：管道安全规定（1996年）

　　压力系统安全规范　（2000年）

国外公司从风险管理、缺陷管理和基于风险的完整性管理逐步发展为现在的完整性管理，因此基本都开展系统的完整性管理循环。





国外管道完整性管理简介

加拿大

- Transcanada
- Enbridge
- 加拿大能源局

管道运营公司

政府监管部门

美国

- Willams Gas
- Enbridge Gas
- Panhandle
- GE PII
- Blade能源
- 国际管道研究协会

技术服务公司

协会

GRTgaz

Construisons le transport de demain

bp

APA Group

2012-2015年间，和较多公司交流，并且在ISO 标准编写过程中，各国专家详细介绍了各自的情况。

国外管道完整性管理简介

1、完整性管理是各管道公司针对线路管理的根本方法，完整性管理模式各不相同

- 各管道公司中，均开展完整性管理，且开展该项工作不仅是满足法规的要求，而且是保证管道安全的基本手段。
- 经过近10余年的发展，各家公司完整性管理部门的管理范围各不相同，但核心都是针对本体的腐蚀、内检测和风险的评价等。各家管道公司完整性管理的开展均日趋科学，逐步细化了管道管理的内容并提高了其管理水平，是一个专业的、具备一套体系成熟的依靠专家、依靠高科技的管理模式。
- 部分公司已经设置了站场（设施）的完整性管理部门，并逐步开始了研究工作。

2、管道完整性管理是以本体安全为核心，以内检测为主要手段的线路完整性管理

- 各公司均把管道完整性管理的重心放在内检测和评价上，每年开展大量内检测工作，对不能开展内检测的管道有计划地进行改造使其具备内检测条件。
- 其它部门也根据内检测计划制定相应的工作计划，比如调整输量保证内检测工作的顺利进行等。
- 完整性管理在全公司的业务管理中发挥着重要的作用，对公司管道维修计划的制定、内检测、风险评估等业务行使管理职能。

3、完整性管理是成为各管道公司的重要部门

- 都有明确的管理目标。
- 都有一名副总裁专项负责完整性管理业务。
- 有专门的完整性管理机构和充足的、高层次的人力资源保障。
- 各公司基本都在2000年后根据政府要求成立了完整性管理部门。
- 随着完整性管理发挥作用的日益显现，各公司已经从被动成立完整性管理部门以满足法规的要求，转变为主动发展完整性管理业务的行为，完整性管理部门的人力资源得到不断补充和发展，成为各管道公司的重要部门。

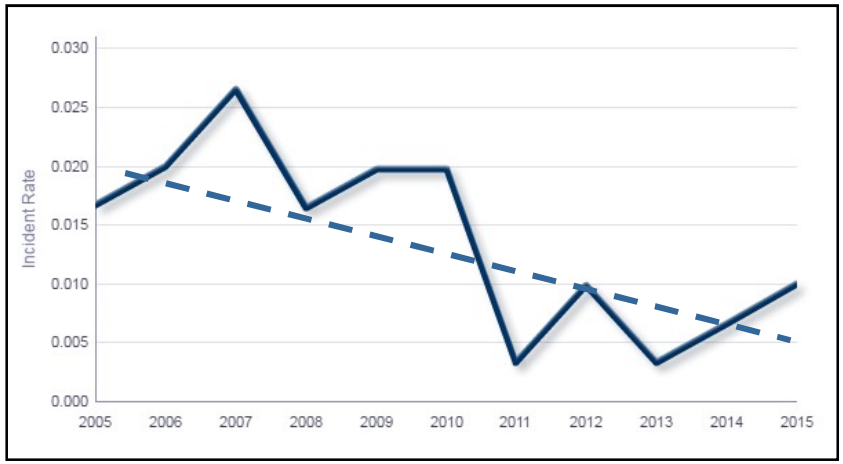
4、管道完整性管理作用显著

- 在公司和政府、公众等沟通中扮演着重要角色；为管道应急等提供基础信息和决策咨询。

5、完整性管理实践和标准后发现差异也很显著：

- 对完整性的理念、重要性和核心内容等认识一致，但在范围、流程和具体执行层面存在不同。
- 遵照的法律法规基础不同。
- 风险可接受标准不同，缺陷修复准则等不同。
- 针对不同的管道特征，需要的专项技术和重点不同。
- 各类标准在定义、范围、程序和可执行性方面存在差异，对完整性的理解也存在差异。

近年来，美国也在持续改进和加强对各管道公司开展完整性管理的要求，各管道公司也主导开展完整性管理提升本质安全水平。效果非常显著。



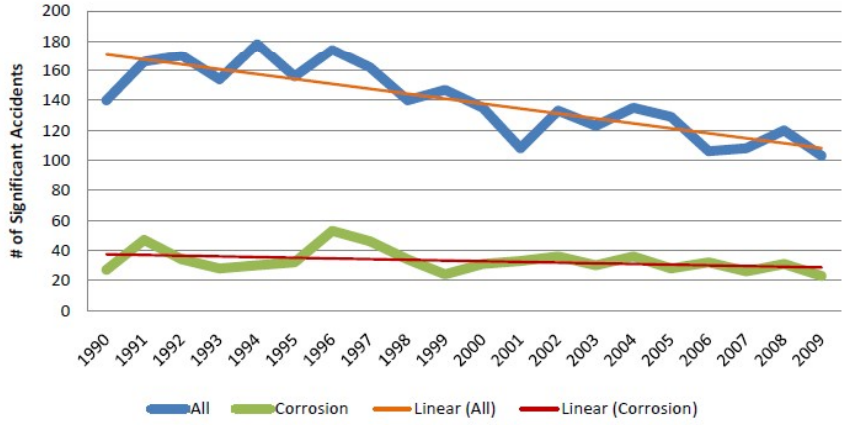


Figure 2 - Hazardous Liquid Pipeline Significant Accidents 1990-2009

国内管道完整性管理历程

传统管理

1990-2003

探索阶段

2004-2008

体系研究

2007-2013

专项技术研究

ASME 2012 Global Pipeline Award

2014 – 今

标准提升

完整性管理

汇报提纲

一、管道完整性管理概要

二、管道完整性管理实践

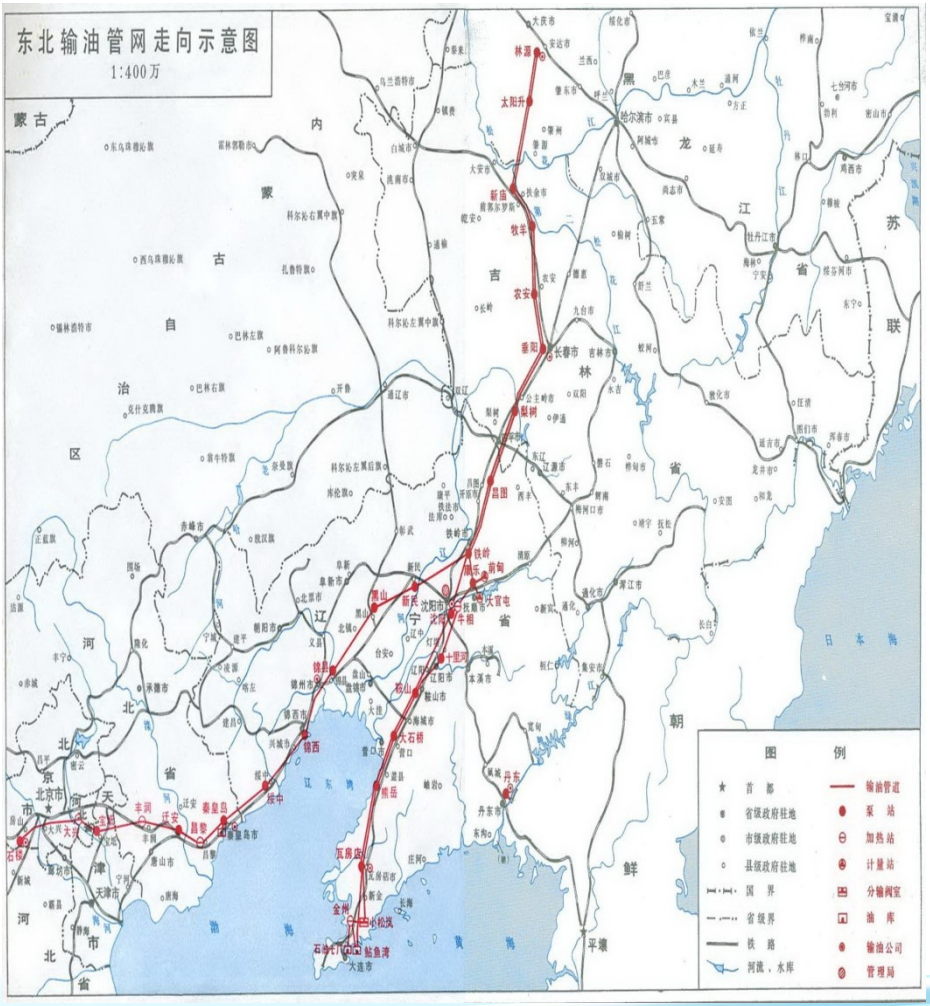
三、管道完整性管理标准与法规

四、发展与讨论

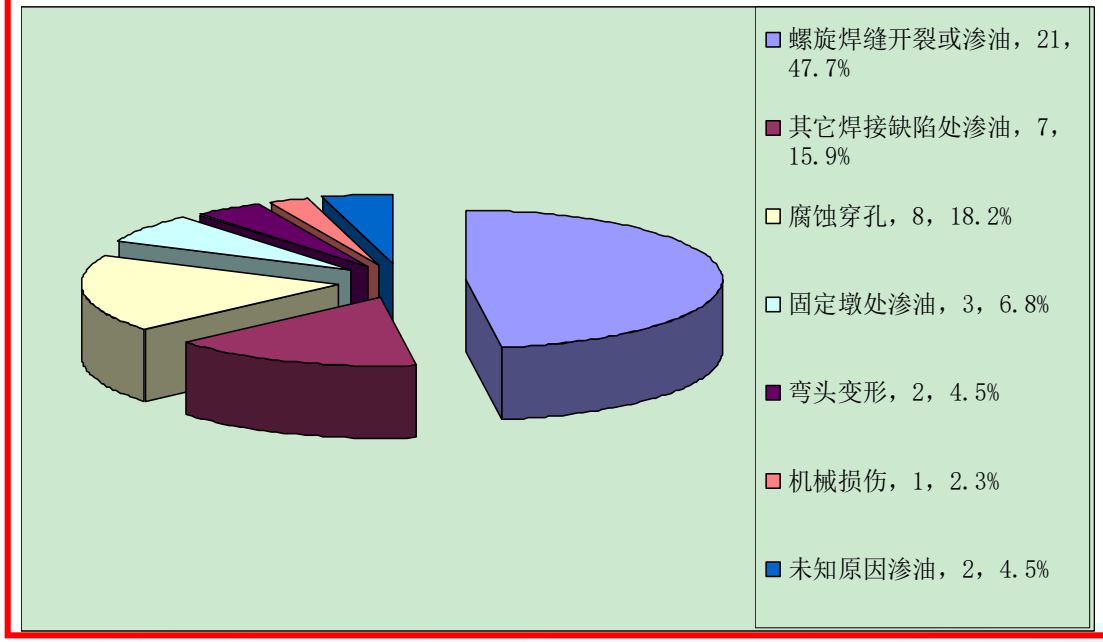
东部管网管道完整性管理实践

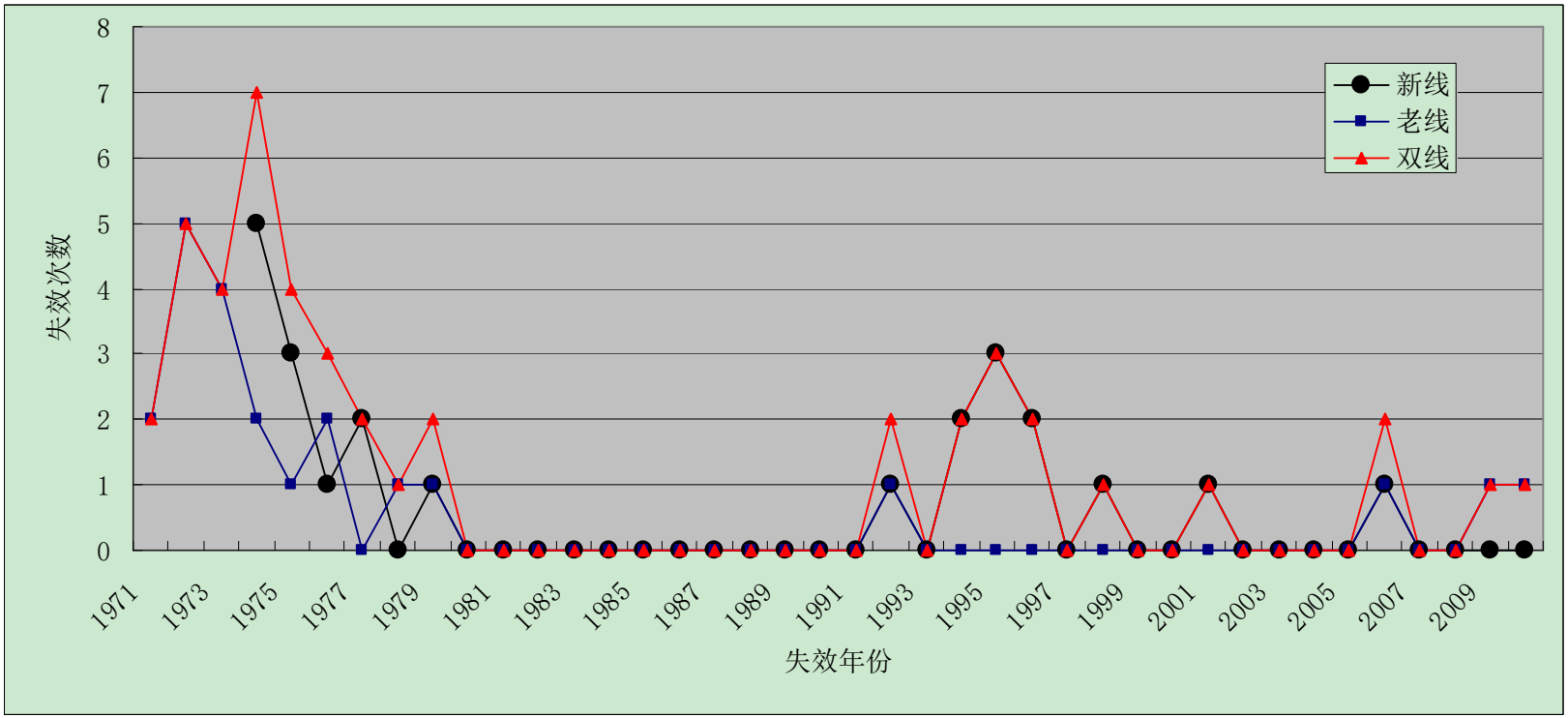
东北管网上世纪70年代建设，管径720mm，加热输送。螺旋焊缝钢管，16Mn(X52)，全长约2000km，设计压力3.92-4.36MPa，设计年输量4000万吨。

作为大庆油和俄油外输的主要动脉,在国民经济中发挥着非常重要的作用。



- 自投产起多次发生由螺旋焊缝开裂和腐蚀穿孔所引起的管道泄漏事故，近年来的多次焊缝开裂事故后果非常严重。





事故分析后认为，螺旋焊缝缺陷开裂后，泄露量大、所造成的后果比腐蚀缺陷泄漏造成的后果更为严重，并且近年来发生的频次有所增加，说明东北原油管线存在大量螺旋焊缝缺陷，已经成为东北管网的高风险因素，严重影响运行安全。

面对已知的高风险因素，提出了如下问题：

1、什么时间会再发生泄漏？位置在哪里？

2、应该如何应对？

3、安全运行压力是多少？

4、这条管道还能用多少年？

5、能否满足增输的需求？

•**需要知道缺陷在那里，有多严重——进行完整性评价。**

完整性评价的3种方法

- 内检测法

  通过内检测，找出缺陷，根据缺陷尺寸评定管体完整性。评价效果最佳。——选用何种技术?

- 压力试验法

  通过打压试验，暴露不能够承载的缺陷。对在役管道，受停输、清管、污水处理等条件的制约。此外，容易造成某些缺陷恶化，增加风险。——工艺条件不允许打压。

- 直接评估法

  通过地面检测、开挖验证等综合分析管道整体状态。此方法缺陷数据采集不全面，评价不充分。——无法检测管体缺陷。

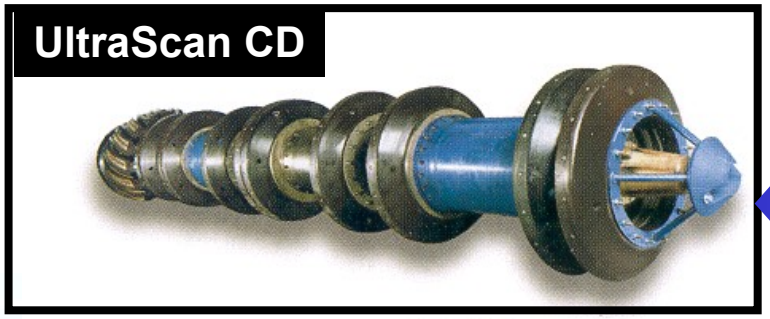
最可行的解决方案是开展内检测，找出螺旋焊缝缺陷的位置和缺陷尺寸，然后根据尺寸进行强度评价，根据评价结果进行针对性修复。

如何检测出螺旋焊缝缺陷成为最难解决的问题?

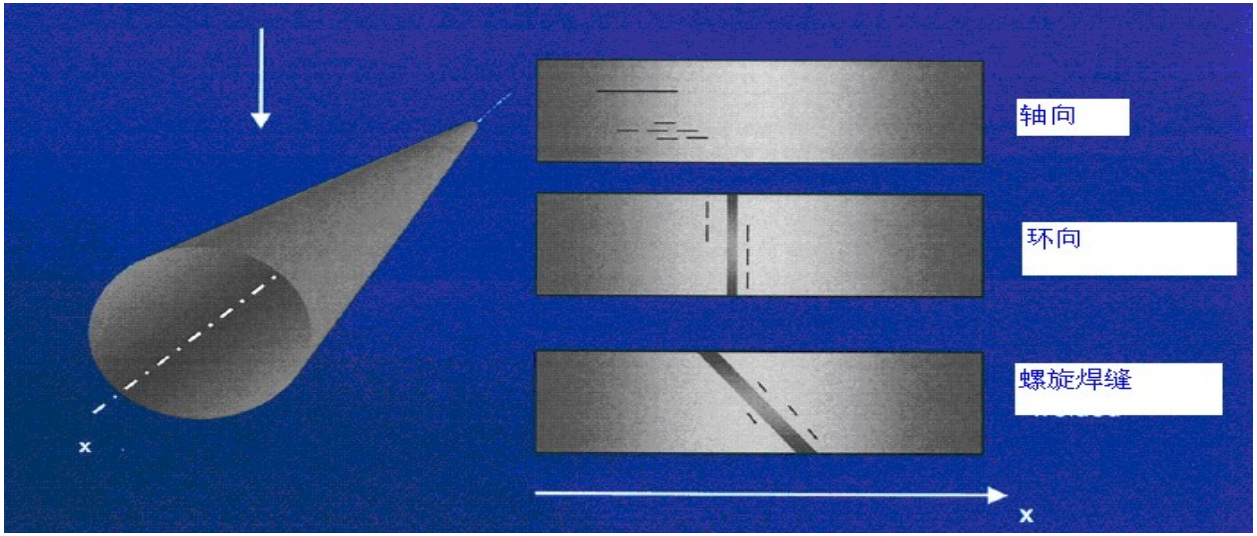
国际上常用检测器有超声类和漏磁类。

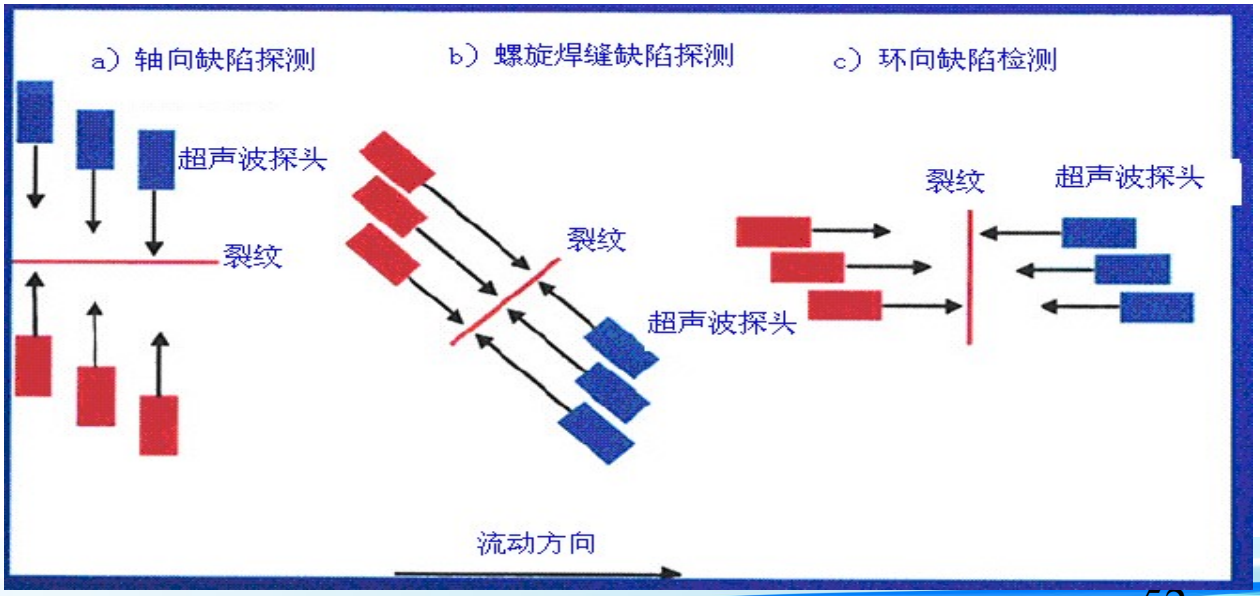
超声波管壁检测器：

腐蚀和管壁厚度变化



超声波裂纹检测工具：
轴向裂纹最先进的裂纹检测技术
不能检测具有一定螺旋角度的裂纹和检测腐蚀缺陷


轴向
环向
螺旋焊缝
x
x


a）轴向缺陷探测
b）螺旋焊缝缺陷探测
c）环向缺陷检测
超声波探头
裂纹
裂纹
超声波探头
裂纹
超声波探头
流动方向

漏磁内检测器工作原理

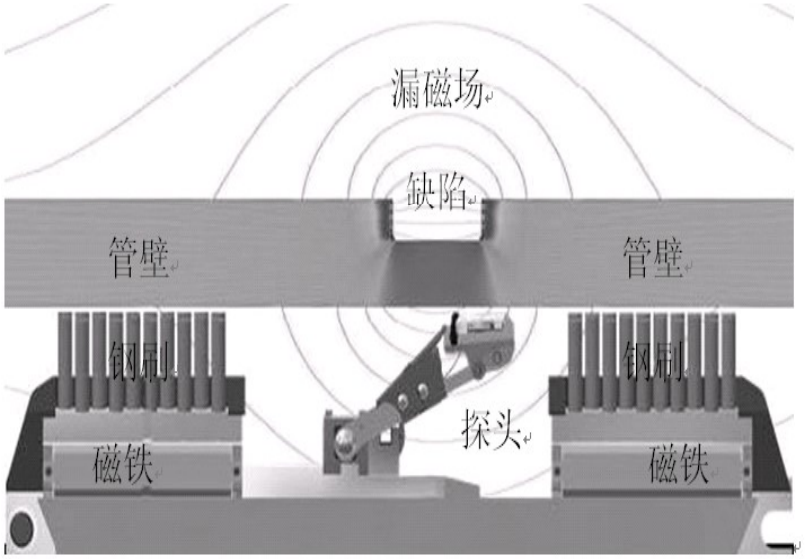
强磁铁产生高磁通量通过管壁，如下情况会使磁力线产生扭曲：

管壁中有金属损失点

如果有金属接近管壁

材质变化

传感器会接受到磁通量的变化。

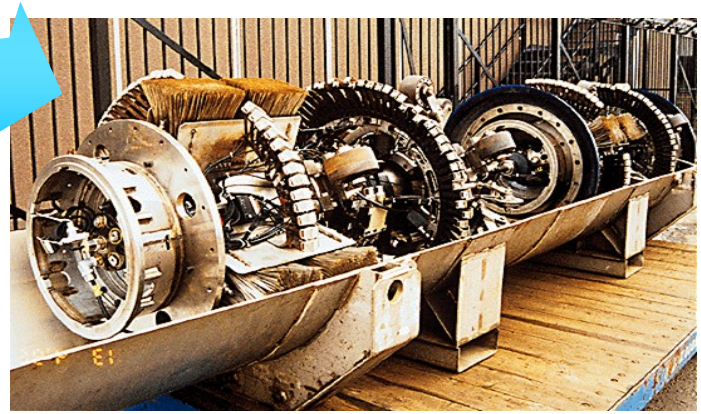


漏磁内检测原理示意图

漏磁内检测技术现状

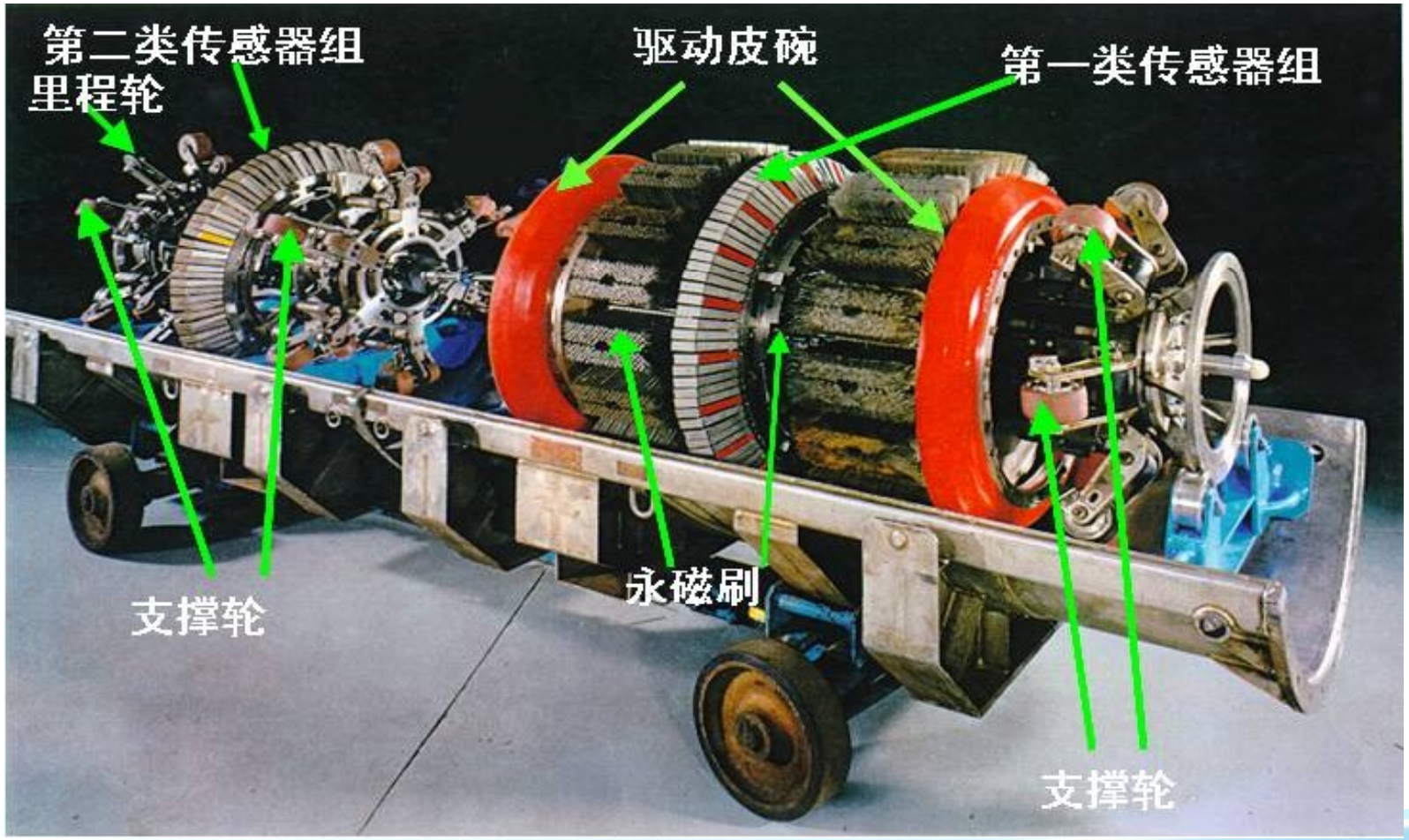
普通漏磁 (MFL) 检测器：

腐蚀缺陷（金属损失）



环向漏磁检测器 (TFI)：
轴向裂纹和狭窄轴向外腐蚀；裂纹最小可检测宽度（开口）0.1mm

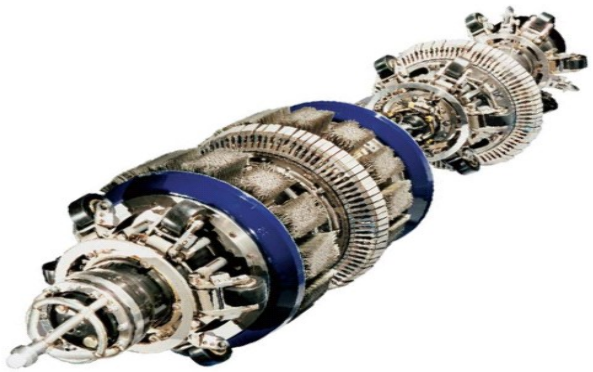
漏磁检测器

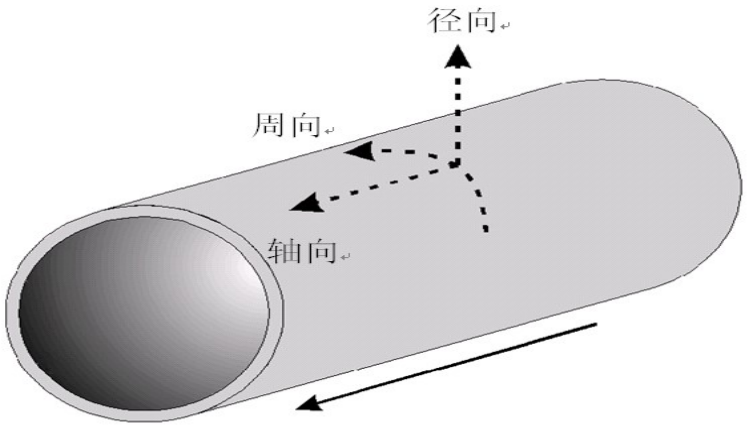


三轴高清漏磁检测器：

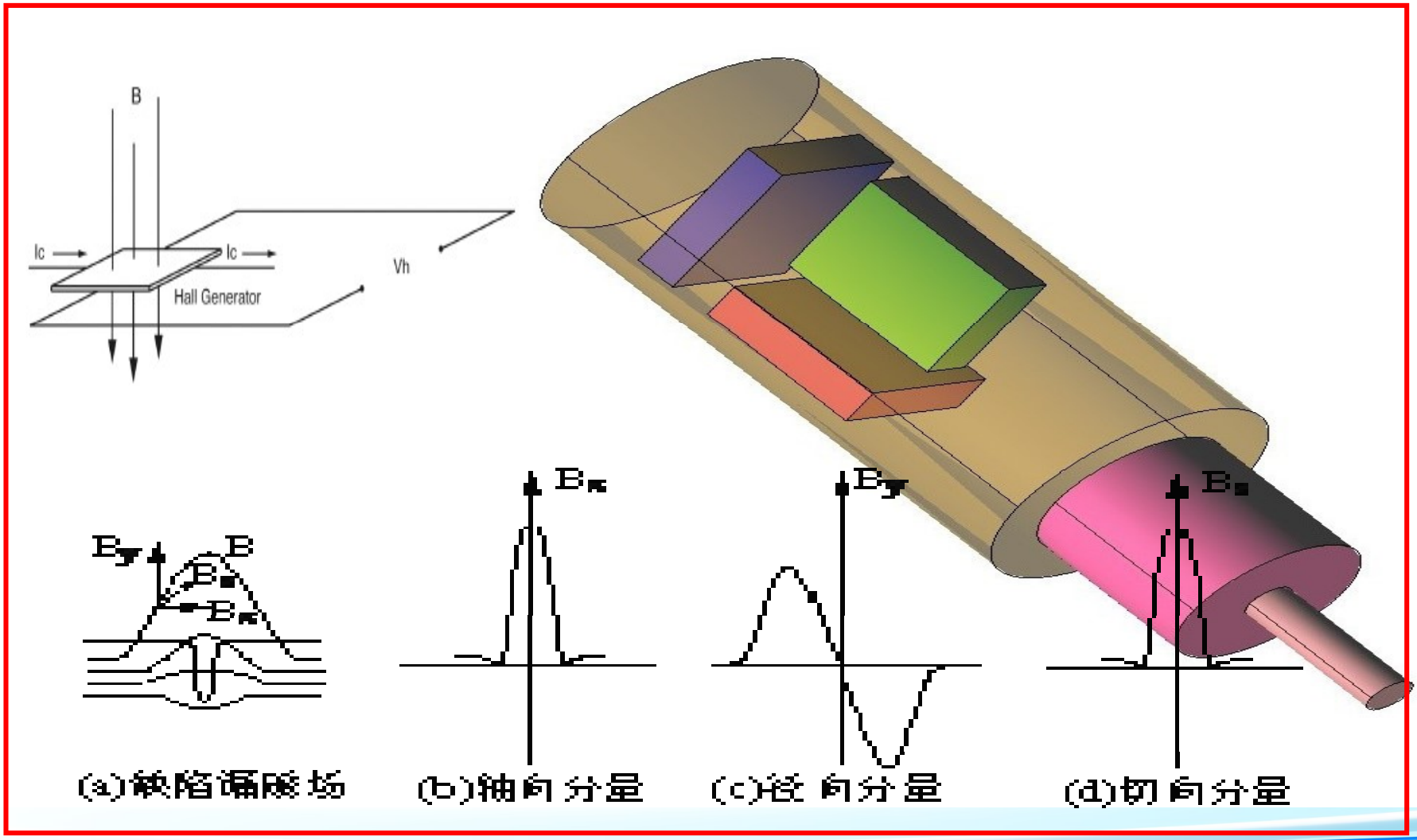
检测腐蚀和部分裂纹

检测原理同传统漏磁检测器相同，主要区别是在同一探头里安装了三个方向的传感器，记录了磁力线在空间的三维变化，通过三组数据来分析缺陷尺寸，提高了对缺陷的识别率、敏感性和精度。





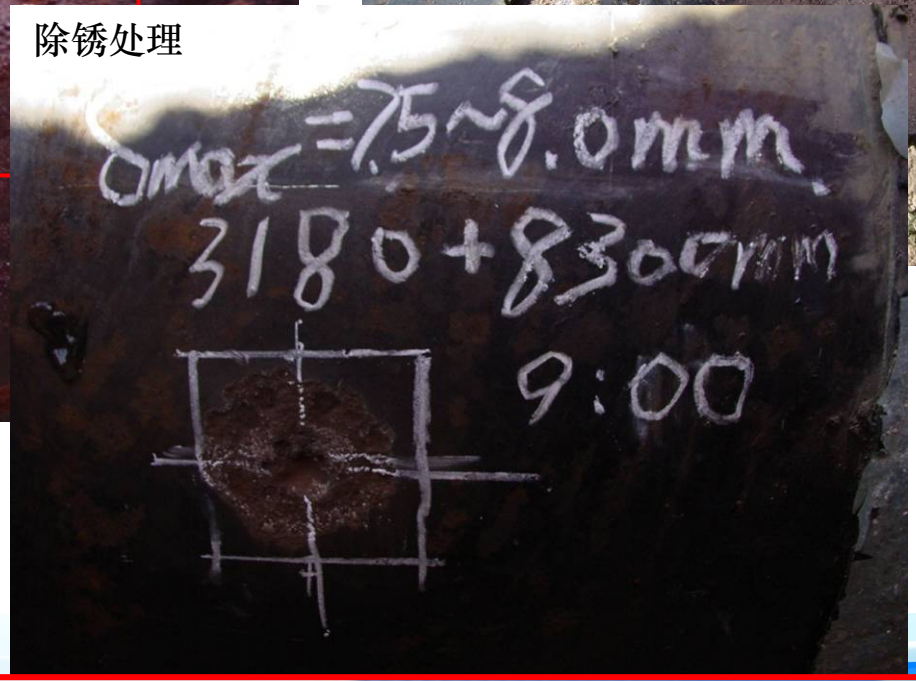
三轴漏磁传感器坐标示意图

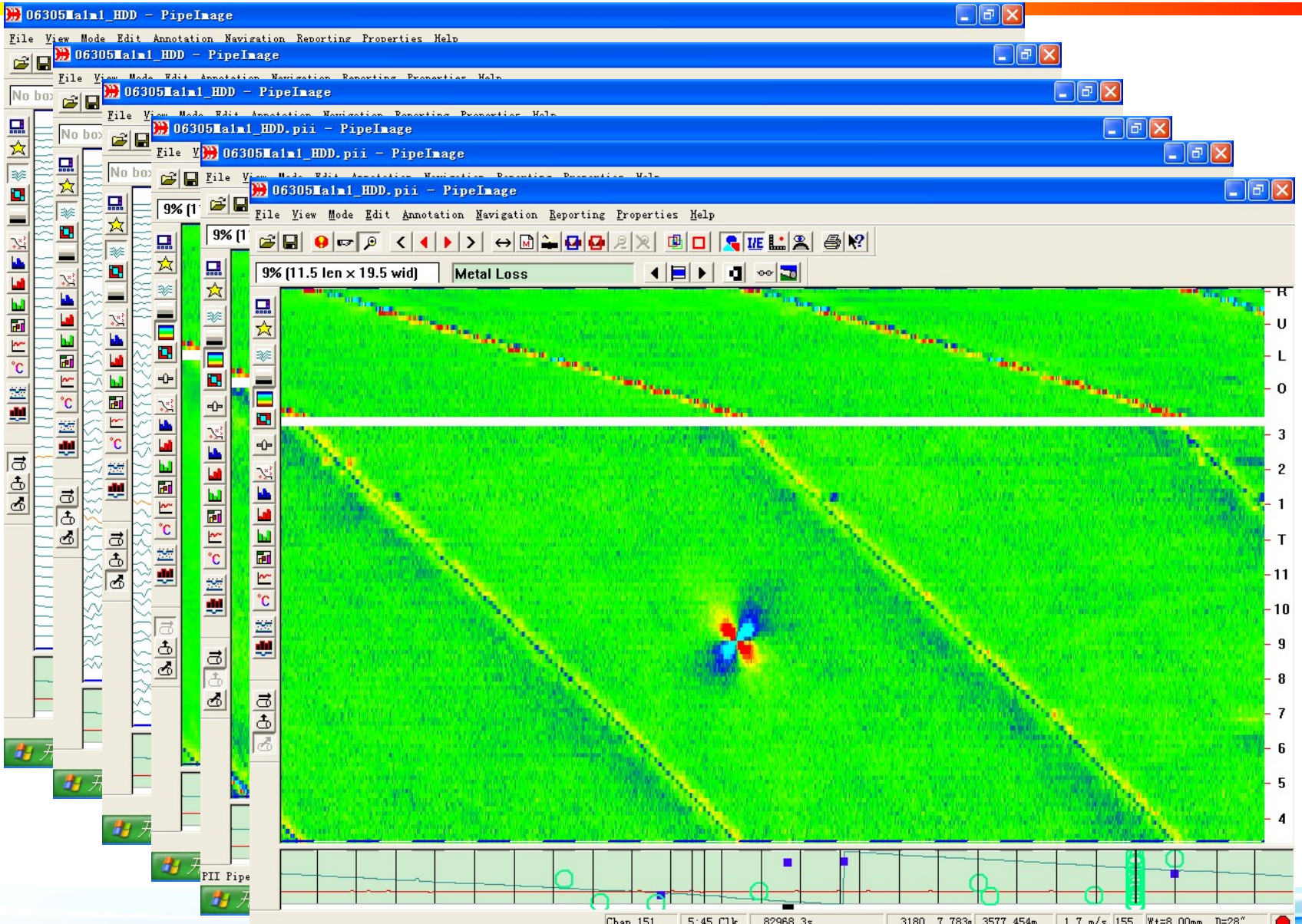

B
Ic
Ic
Vh
Hall Generator
(a)缺陷漏磁场
(b)轴向分量
(c)径向分量
(d)切向分量

缺陷原始形貌

剥离的防腐层

除锈处理




06305la1m1_HDD - PipeImage
06305la1m1_HDD.pii - PipeImage
File View Mode Edit Annotation Navigation Reporting Properties Help
9% (11.5 len x 19.5 wid)
Metal Loss
Chan 151
5:45 Clk
82968.3s
3180 7.783m
3577.454m
1.7 m/s
155
Wt=8.00mm, D=28"
开始
100%
11:46 AM

管道公司在邀请了所有国际上知名检测公司研究东北管道螺旋焊缝缺陷的检测难题后，国外公司都认为无法检测。

管道公司分析当前国际上的检测技术水平，选择了国际上最先进的三轴高清漏磁检测技术进行实验性检测。

实验性检测与2007年1月完成，2007年7月完成现场开挖验证工作。

对焊缝检测数据，国外检测公司根据数据分析经验和2次开挖验证结果，初步认为：

虽然内检测信号发现了一些螺旋焊缝处的信号异常，但认为撅嘴（roof toping）、错边（hi-low） 是导致在螺旋焊缝上出现磁信号异常(波动)的主要原因。

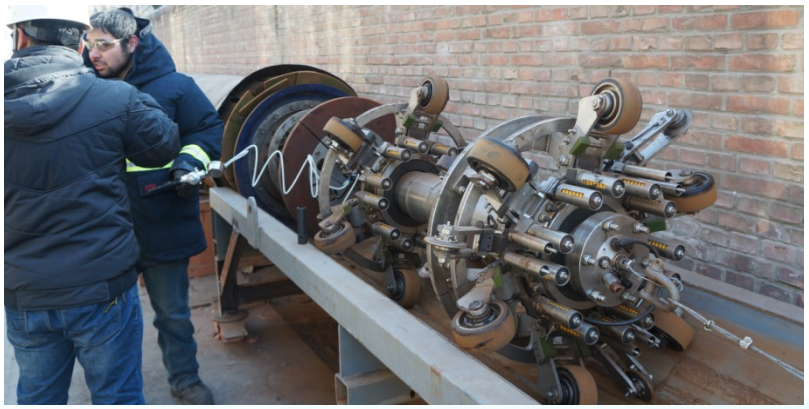
同时，回答不了：

1、异常信号同缺陷类型的对应关系。

2、缺陷严重程度的划分。

但国外公司认为该技术无法用于检测螺旋焊缝缺陷。

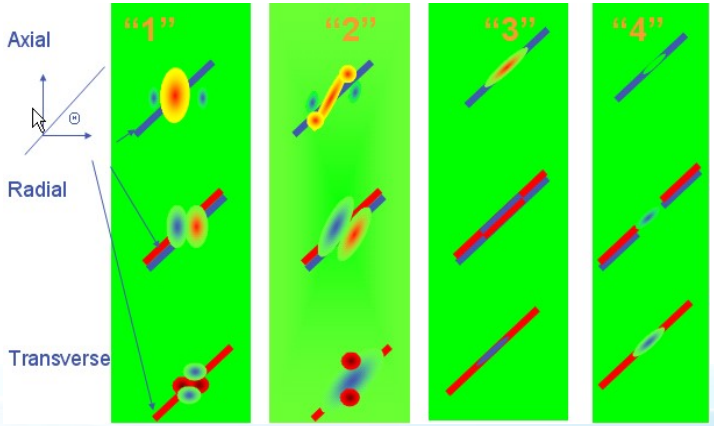
管道公司在深入的理论、数据分析后，认为螺旋焊缝信号有研究的价值，制定了研究方案。先后在英国和国内共开展了3次大型牵引试验，加工缺陷样品近200个，实验管道长度近1公里，组织现场测试及取样多次，到国外联合研究公关3次，取得了突破。

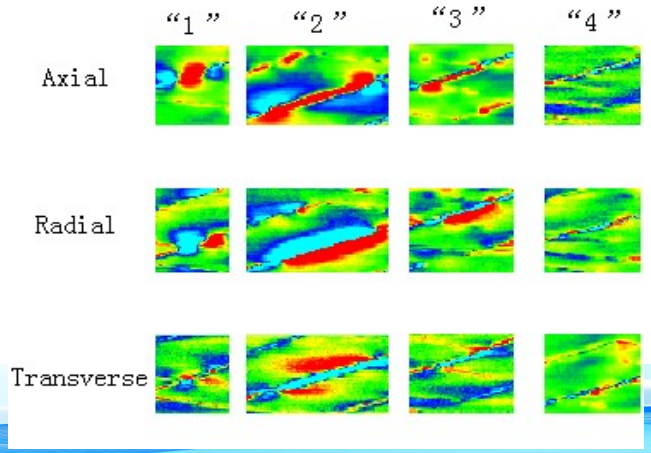


研究出“冯庆善-Jeff Sutherland”缺陷信号特征分析技术，找出了缺陷和内检测检出信号的对应关系，解决了2个难题：

- ✓ 解决了无法找出缺陷的难题。可以通过内检测找出螺旋焊缝缺陷，判定螺旋焊缝缺陷的位置和尺寸。
- ✓ 解决了安全运行压力和缺陷维修方式的难题。可以判定缺陷的危险程度，给出修复排序。

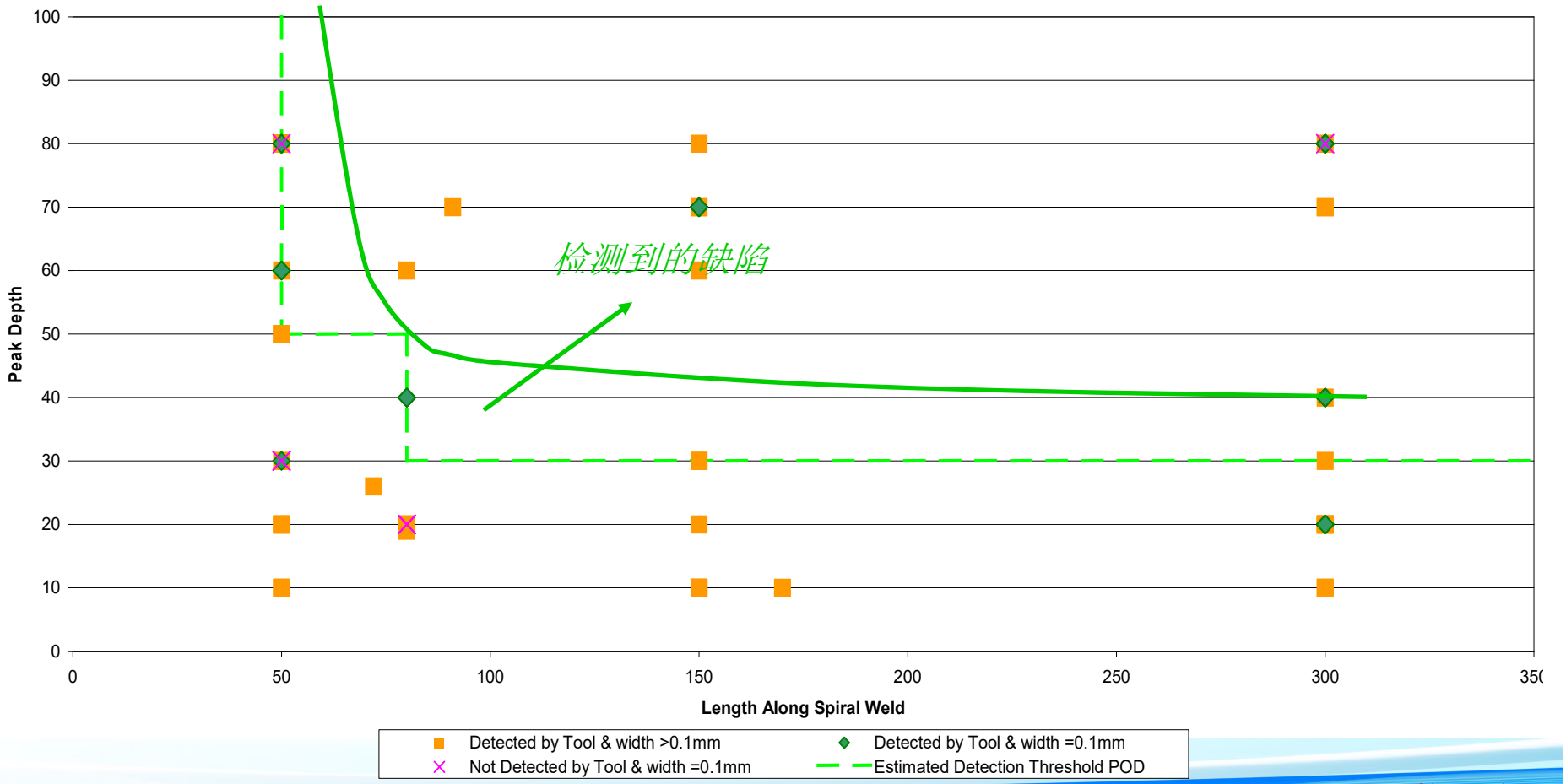
对人工制造的150处缺陷进行牵引试验，通过分析识别信号，基本可以分为四种信号类型，初步认知了缺陷长度、宽度、深度与信号类型的关系。





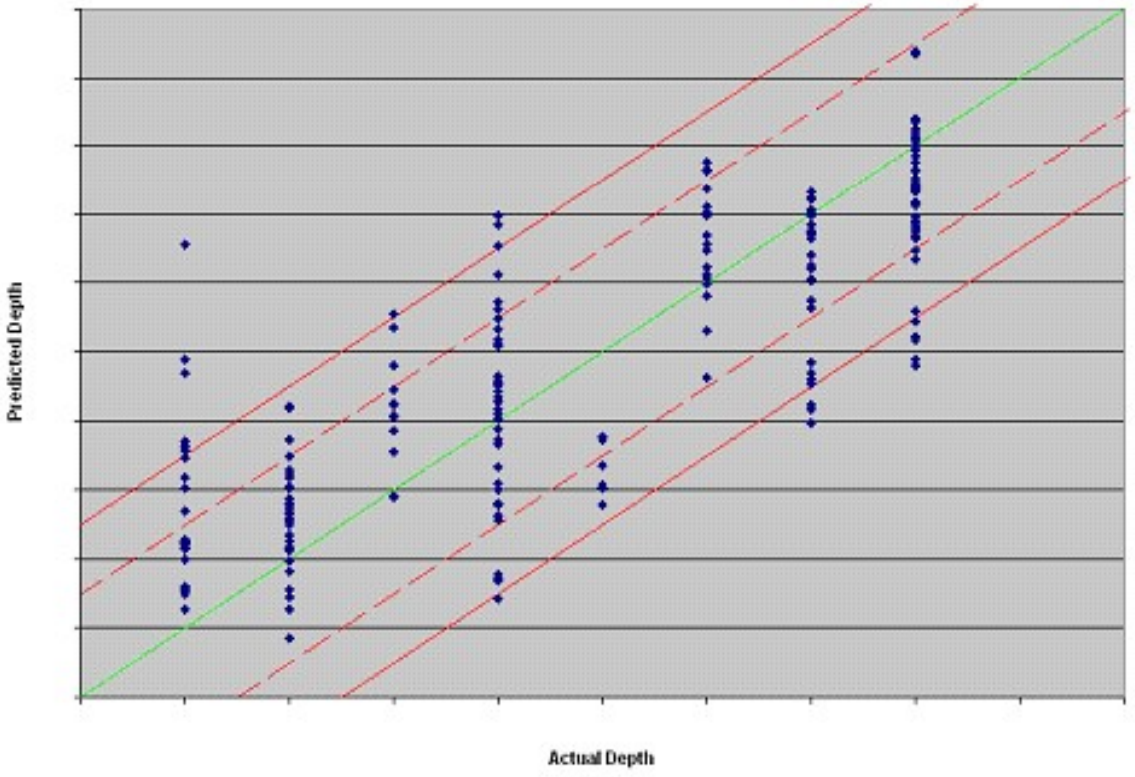
仅第二次牵拉试验识别检测出了117个缺陷中的100个缺陷

判定出设备缺陷检出范围指标POD 超过 90%



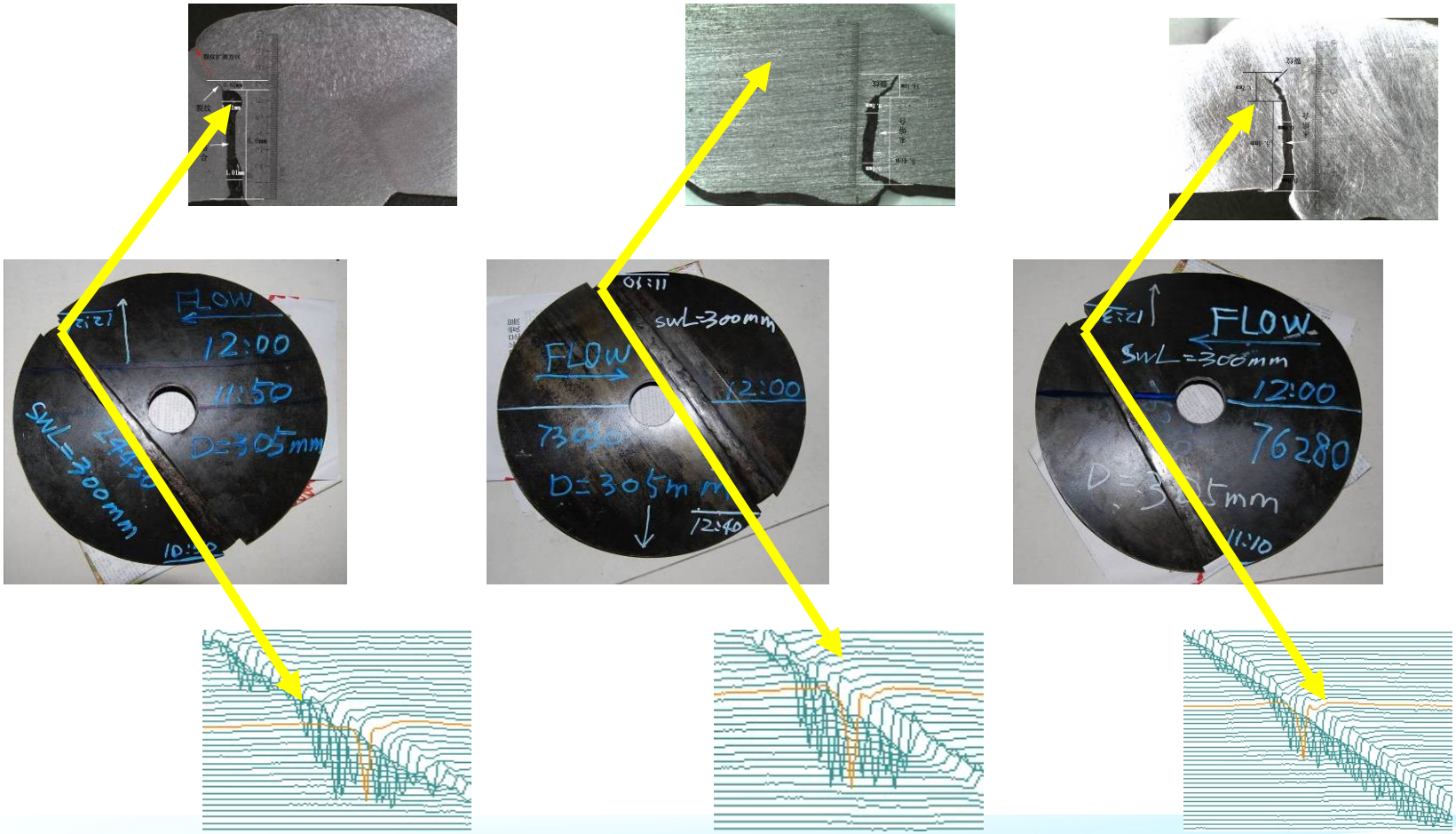
三轴漏磁缺陷尺寸判定:

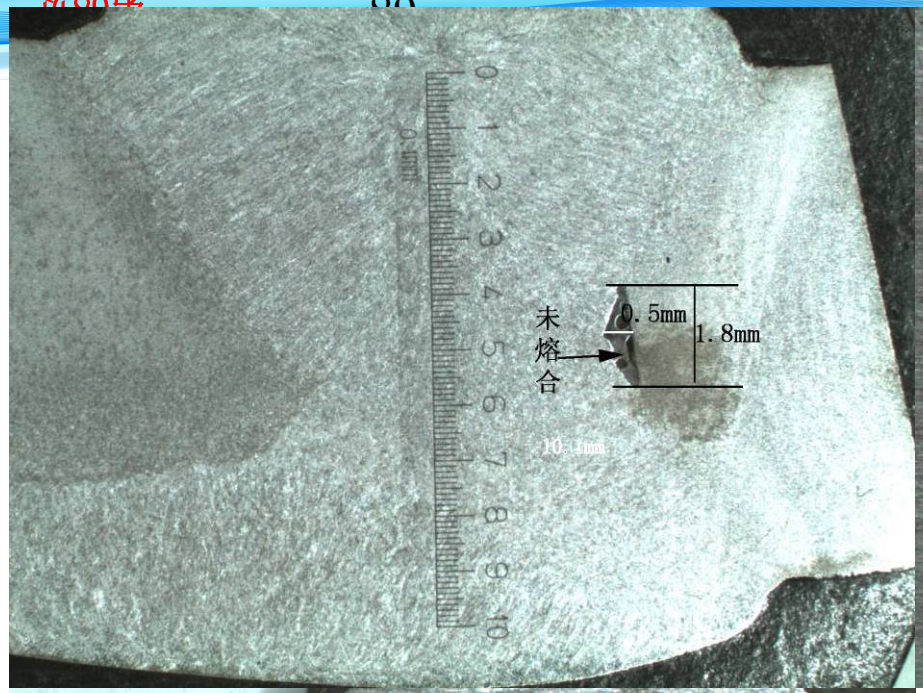
- 保持在壁厚深度的+/-15% 和 80 % 置信度;
- 沿螺旋焊缝长度±25mm 和 80% 置信度。

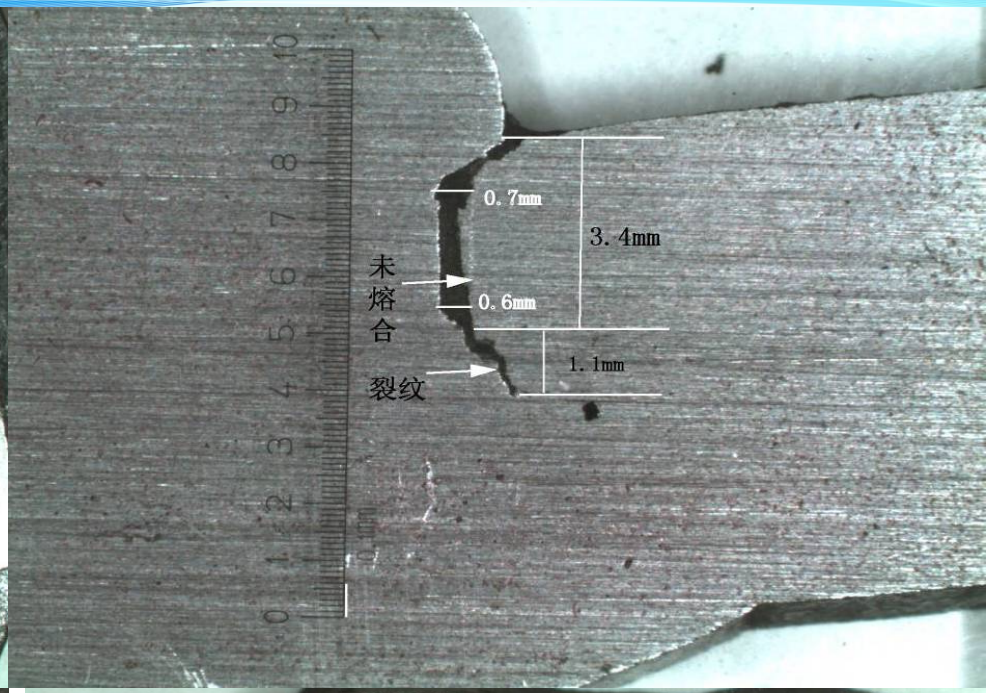


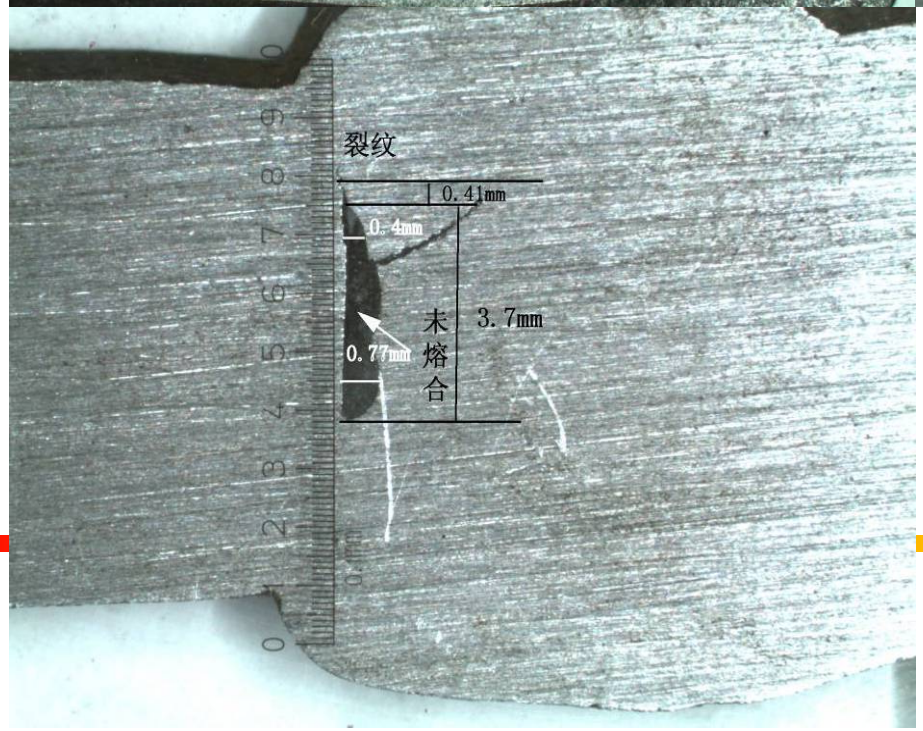
为了验证该结论，从林源~新庙老线和新线内检测试验段选取了6个信号特征点，根据信号位置在管体上进行开孔取板验证。

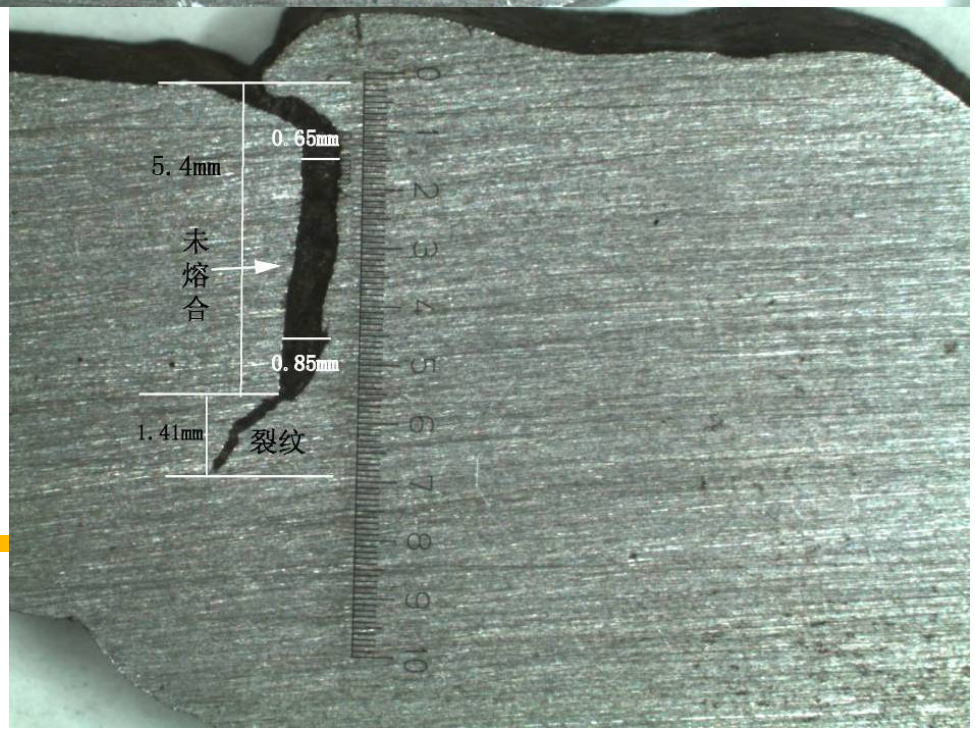
2008年选择了3处信号较大的缺陷进行取样验证



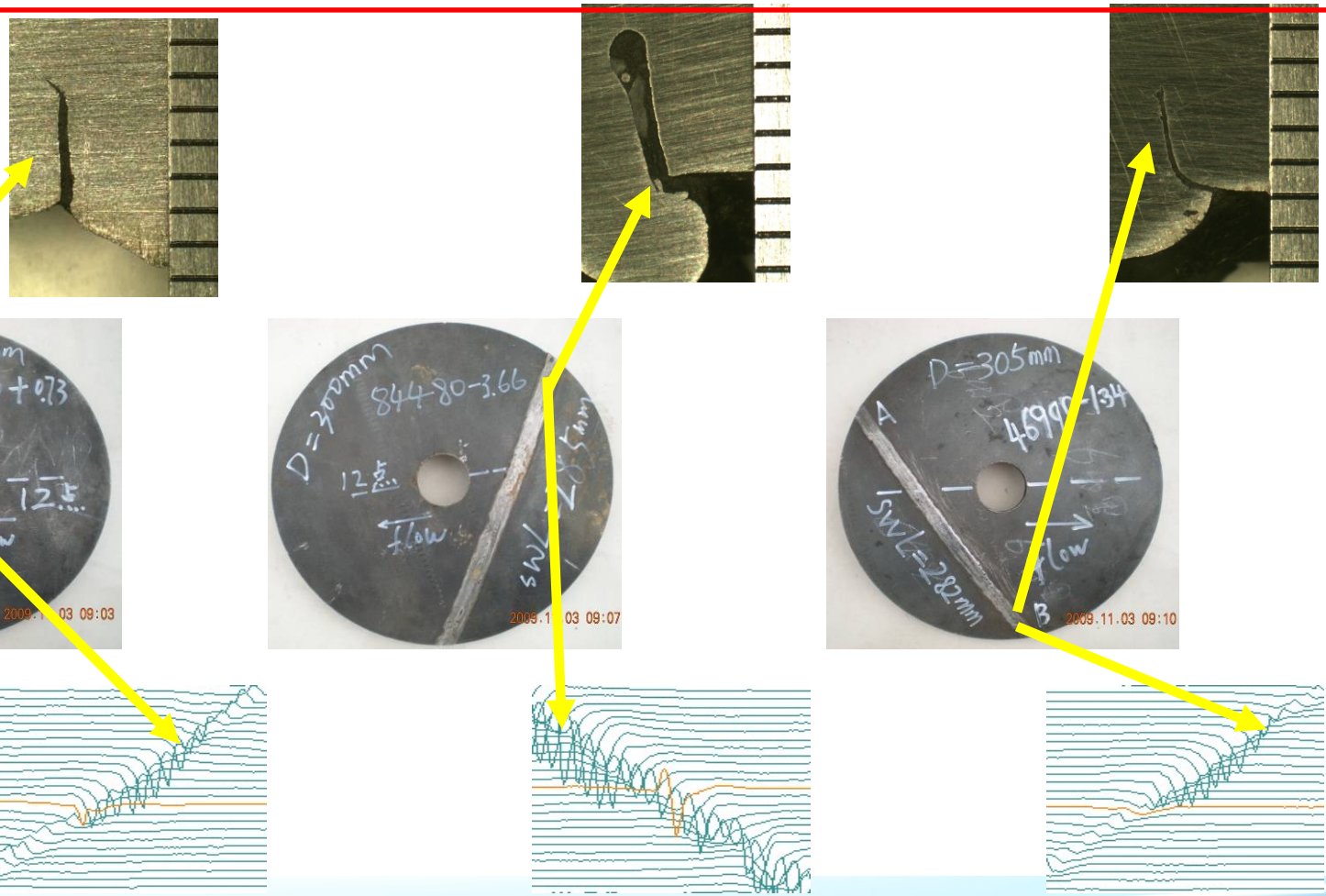

未
熔
合
0.5mm
1.8mm


0.7mm
3.4mm
未
熔
合
0.6mm
1.1mm
裂纹

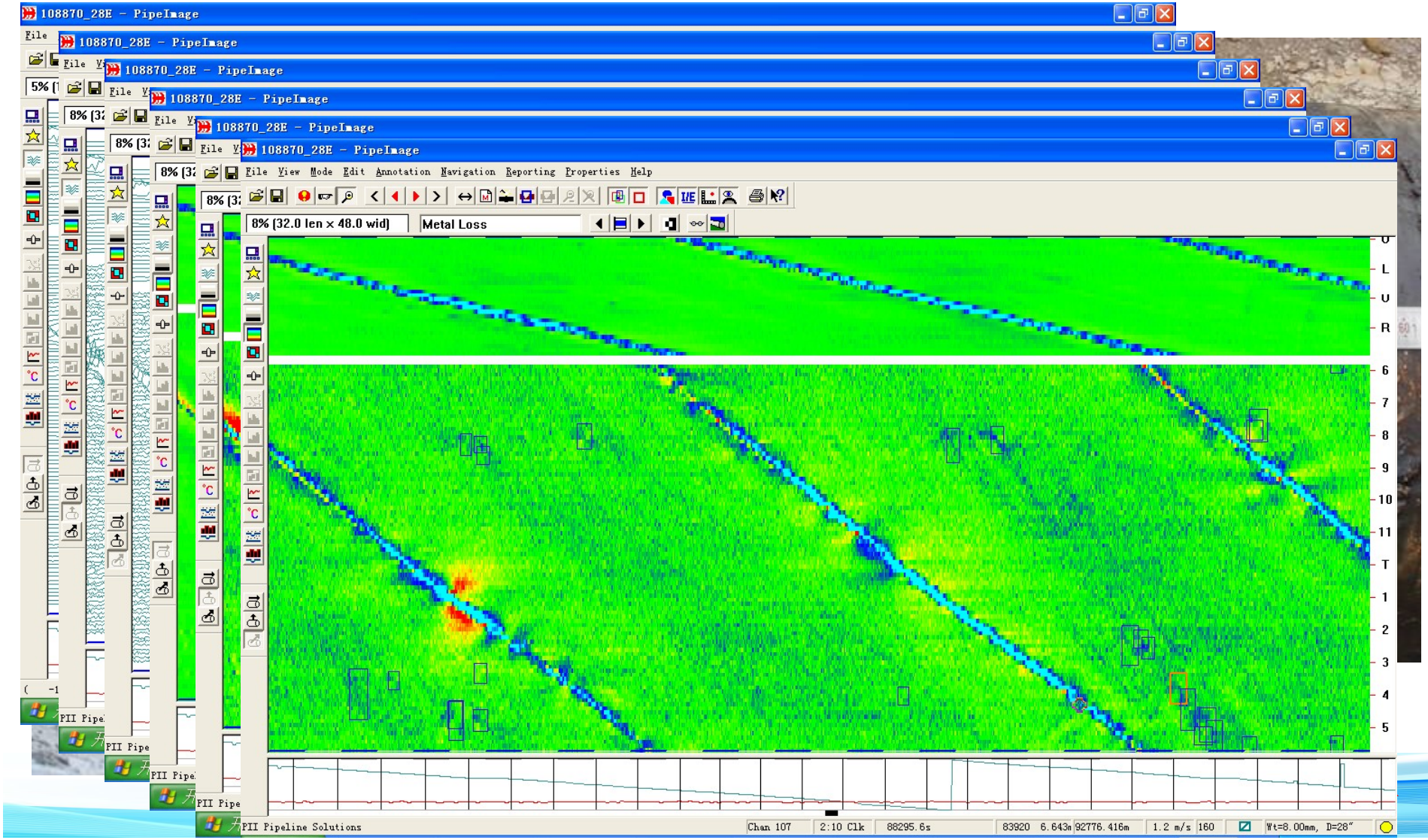

裂纹
0.41mm
0.4mm
未
熔
合
3.7mm
0.77mm


0.65mm
5.4mm
未
熔
合
0.85mm
1.41mm
裂纹

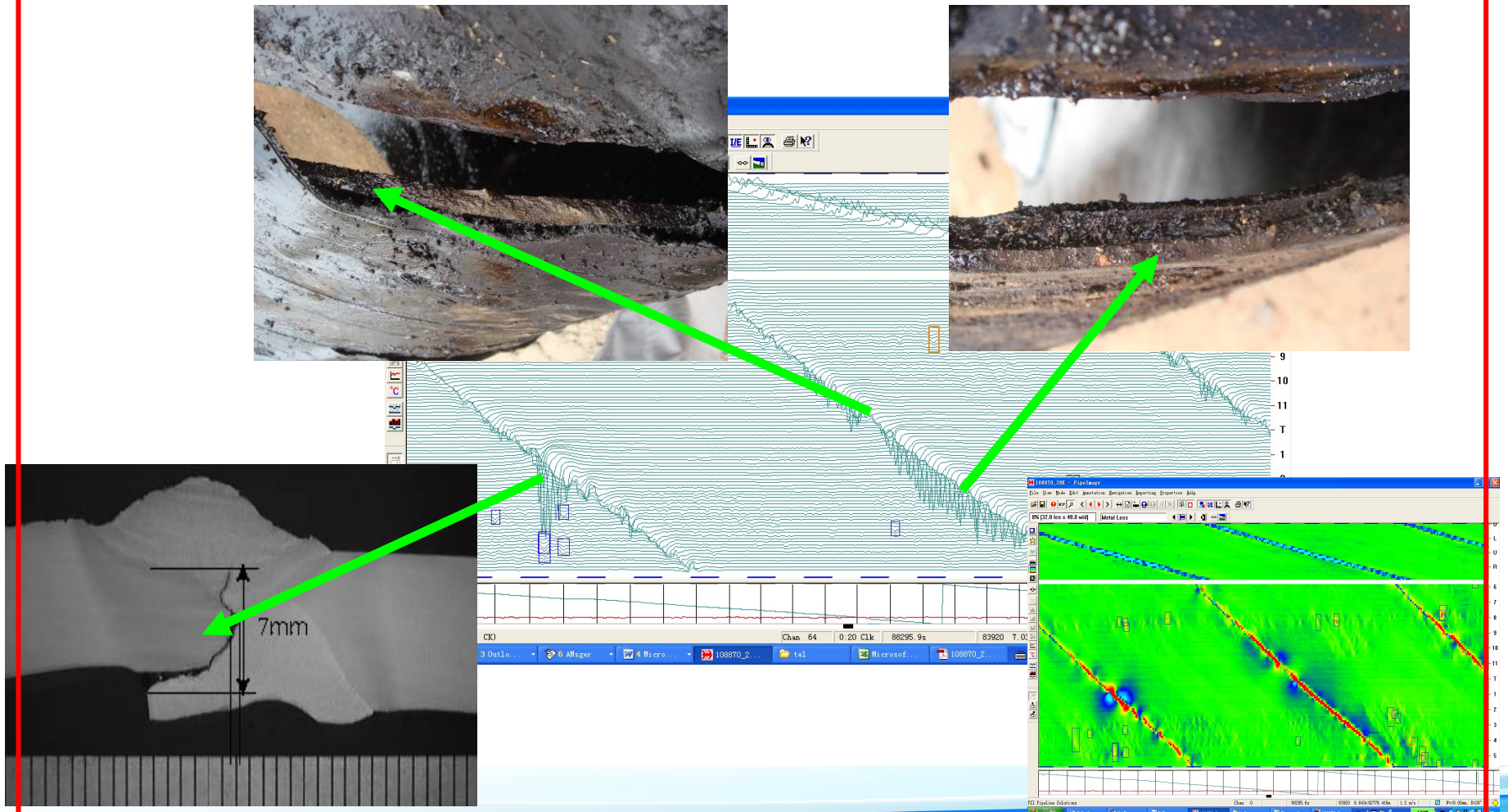
2009年取了3处信号小的缺陷进行取板验证

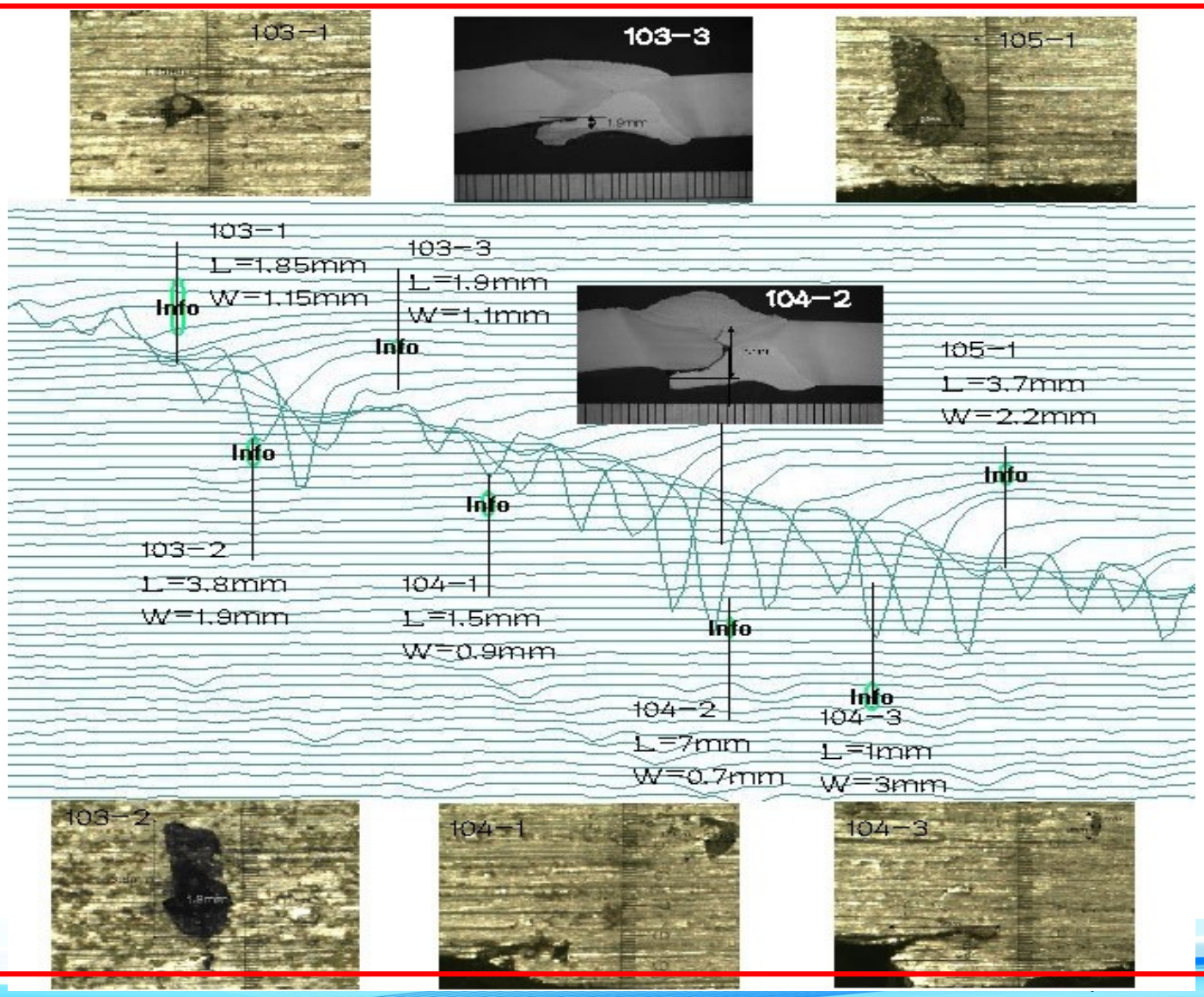


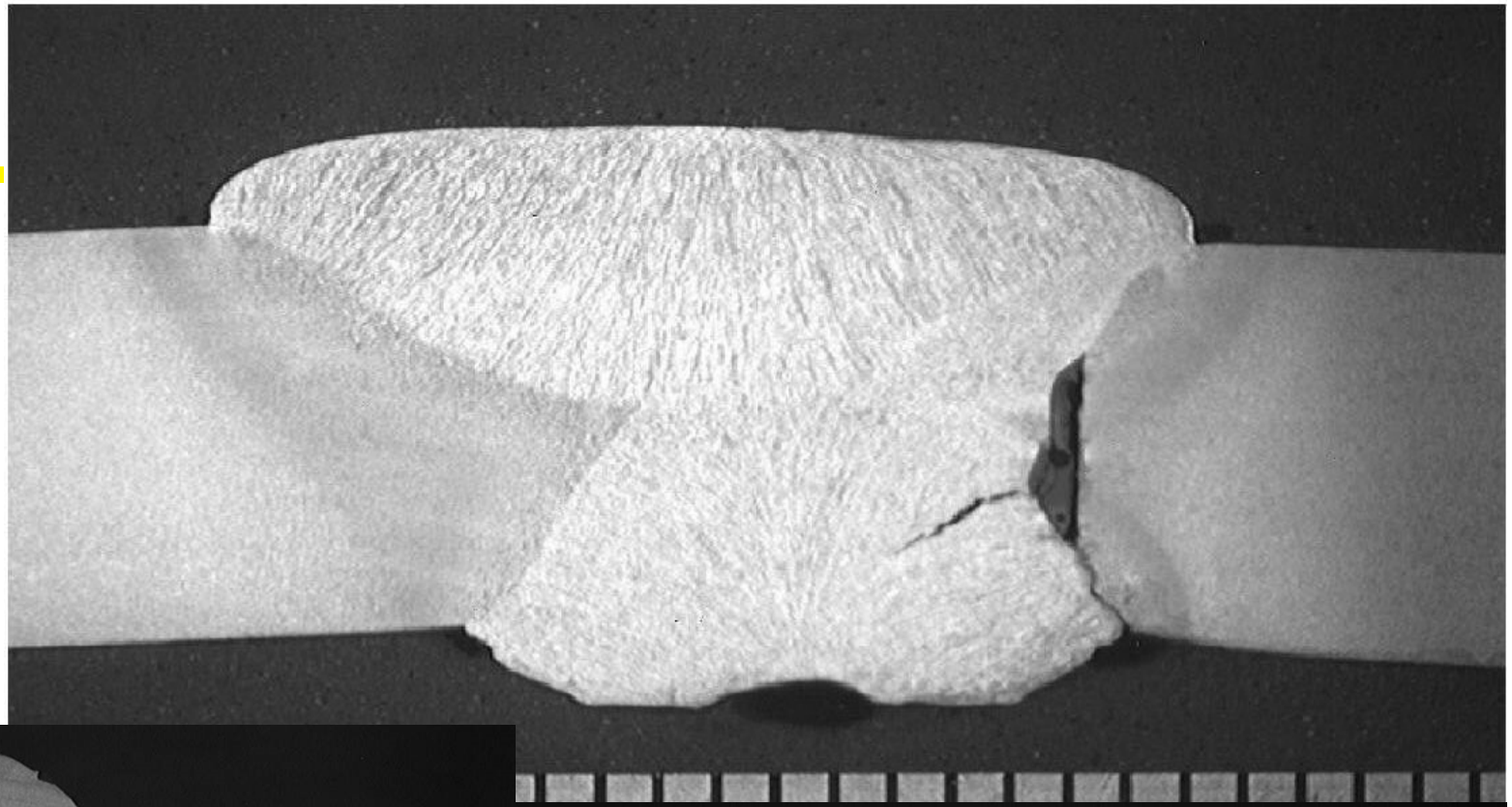
- 726管线螺旋焊缝开裂信号分析对比

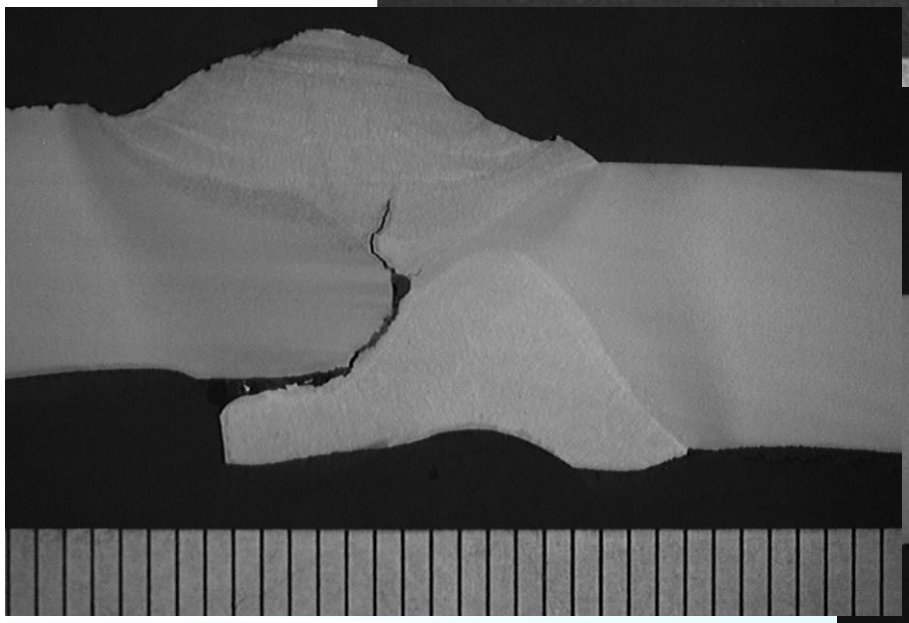


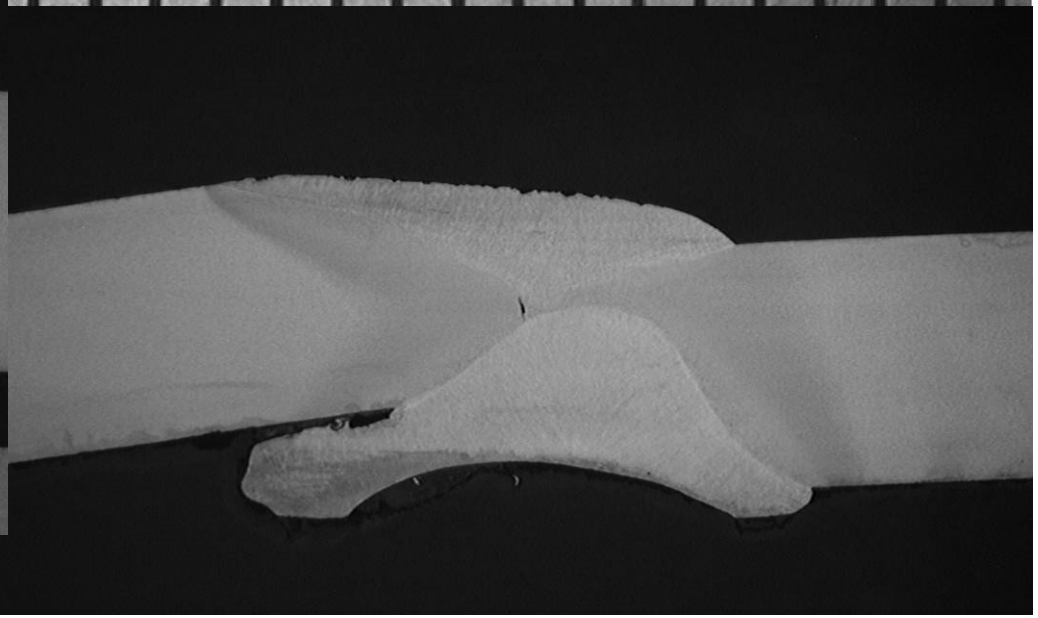
- 726管道开裂处缺陷的验证。



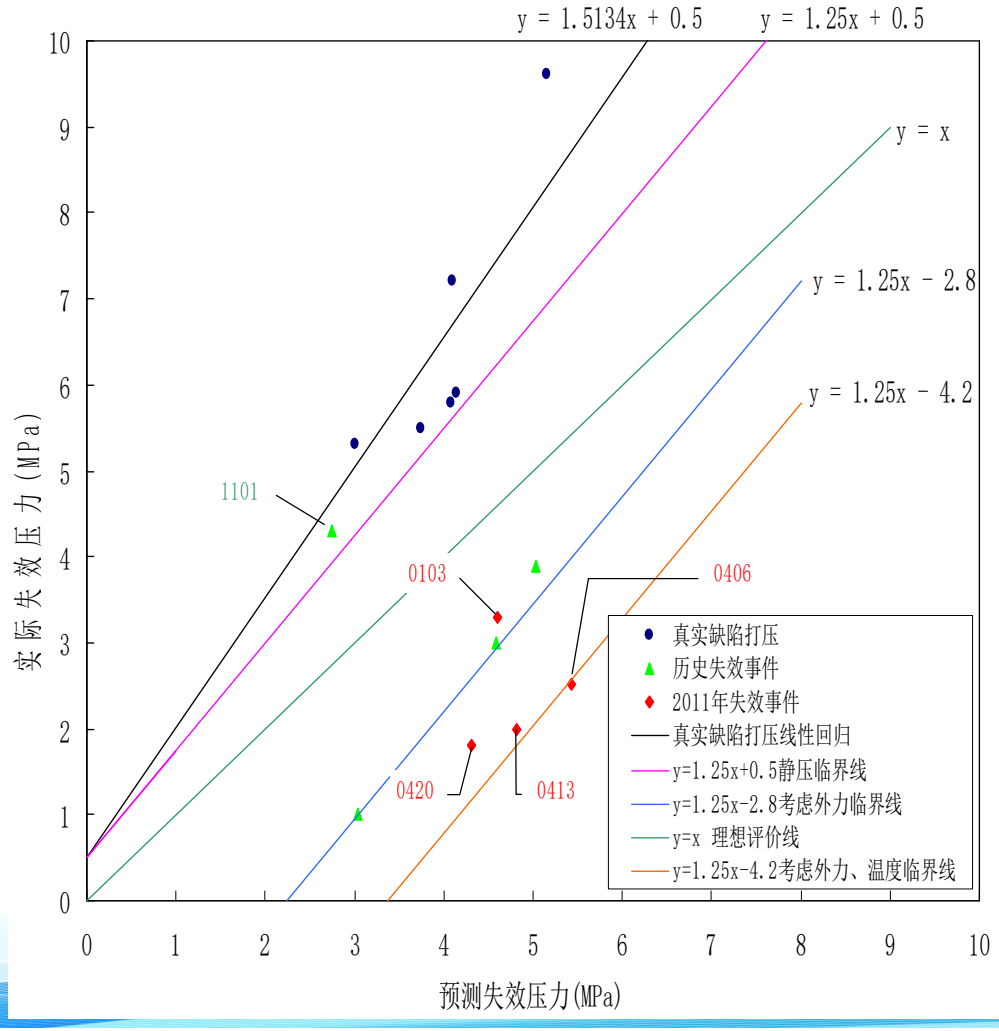

103-1
103-3
105-1
103-1
L=1.85mm
W=1.15mm
103-3
L=1.9mm
W=1.1mm
104-2
105-1
L=3.7mm
W=2.2mm
Info
103-2
L=3.8mm
W=1.9mm
104-1
L=1.5mm
W=0.9mm
104-2
L=7mm
W=0.7mm
104-3
L=1mm
W=3mm
103-2
104-1
104-3



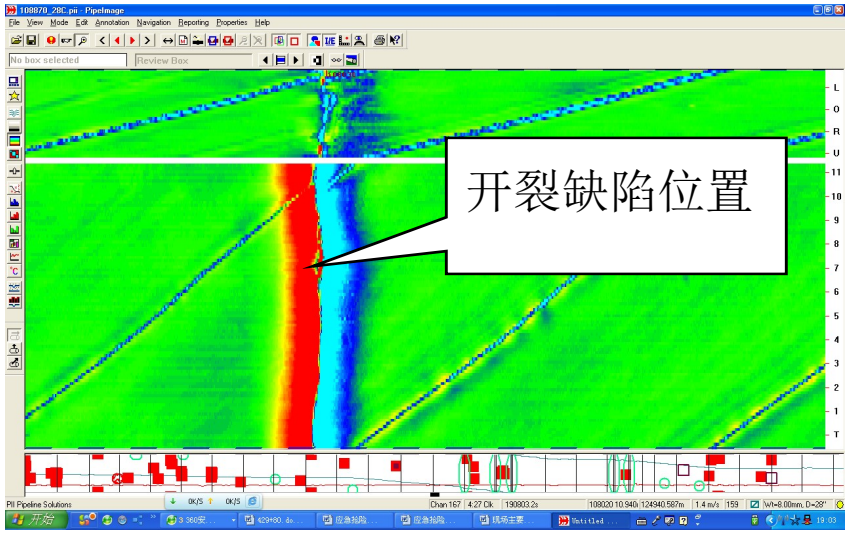


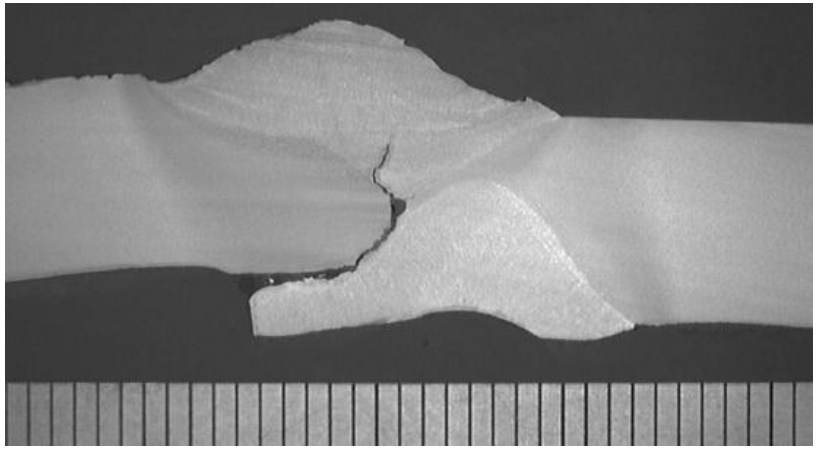


由于国际上没有针对螺旋焊缝缺陷的强度评价公式，管道公司开展了针对性研究，并在内检测数据的统计、失效分析和评估研究后，针对性的开展了系列专项，包括材料性能测试、失效模式研究、模拟爆破试验以及同施工信息、环境信息、风险等整合评估。



在庆铁双线共修复了约3800处缺陷，消除了大量隐患，但在庆铁线常温输送后，又多次发生了开裂事故，环境影响大。





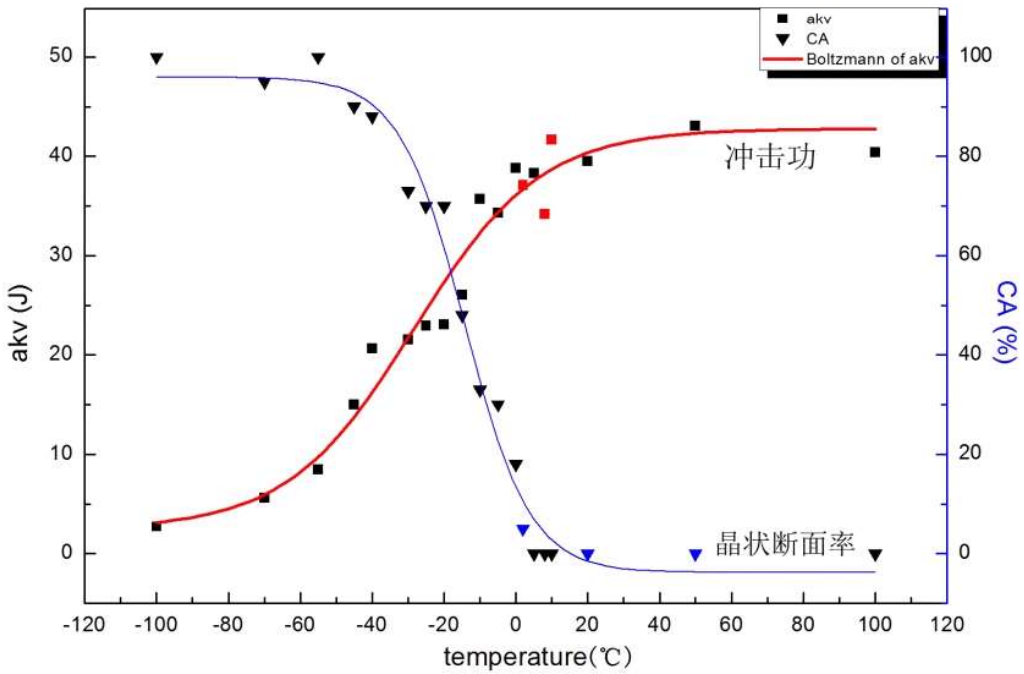
对新增事故的失效分析后，找出了事故的根本原因：

1）缺陷的存在是根本。

2）在常温输送温度下，焊缝材料发生韧脆转变是关键。

3）管体从高温转变为低温，管体从受热涨的压应力到冷的拉应力是重要诱发因素。

4）在低温变化季节，土壤应力变化、开挖扰动和修复质量控制是主要诱发因素。



在上述结论的基础上，只有提高输送温度，从而实现：

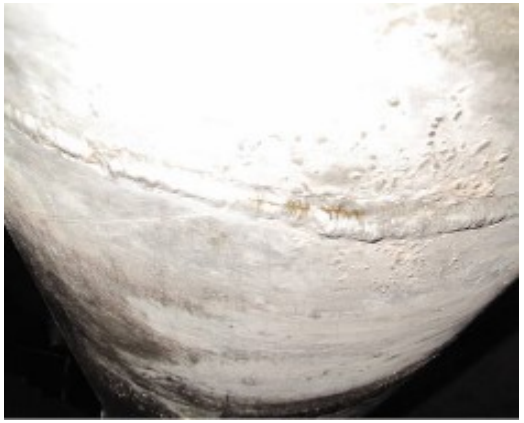
1）将焊缝处从脆性转变为韧性处使用，入站温度需保证在10度以上。

2）稳定管体周边土壤的含水等状态，从而稳定土壤应力。

按照上述方案调整输送温度后，在油温超过10度后基本也不再发生事故，验证了上述方案的科学性。

当前对输送温度较低段，需要重点关注，也对我们如何应对提出了严格要求！

根据完整性评价结果，每年安排资金，先后对庆铁线、等老管道开展管体缺陷修复工作，截至2013年底，共计修复缺陷点6421处，部分缺陷开挖后发现已经泄漏，修复后泄漏风险得到一定的控制，但由于缺陷数量大，部分裂纹无法检出等限制，整体依然存在泄漏风险。



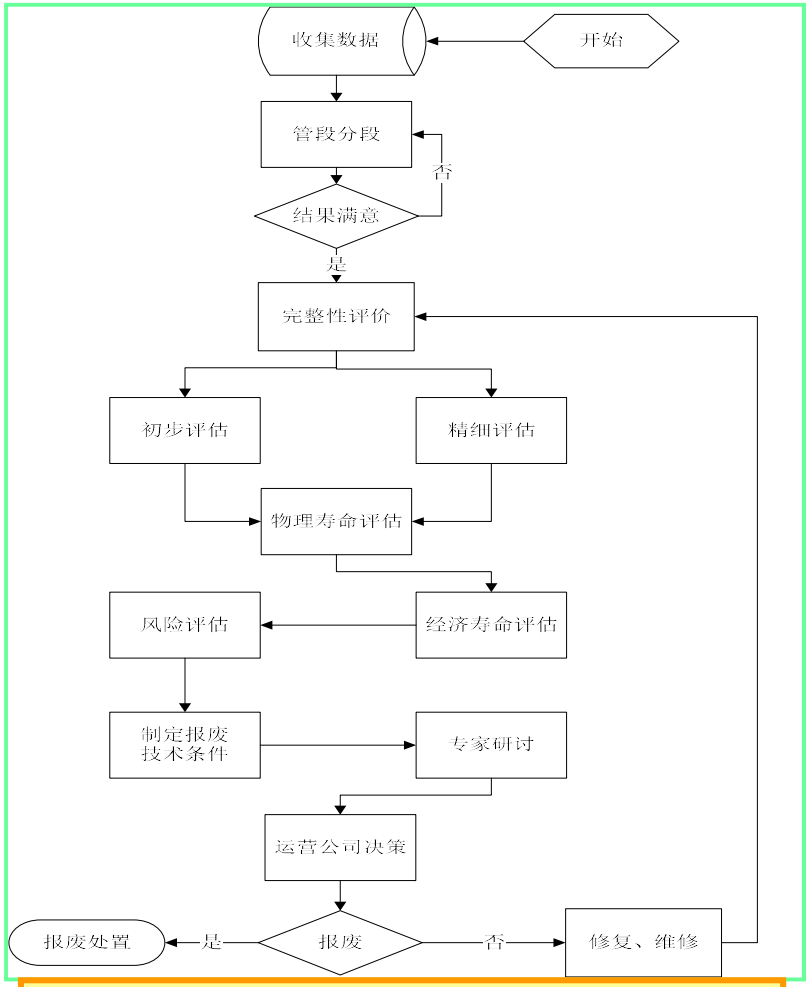
管道寿命评估：

设计寿命

物理寿命

经济寿命

依据完整性评估，对管道的物理寿命进行评估，得出管道报废的结论。



老龄管道物理寿命评估流程图

此项工作系统的开展了检测（数据采集）、评价（高后果区评价、风险评价、完整性评价）、修复维护和失效分析等工作，实现了对管体缺陷的风险预控，这不仅为我国带有螺旋焊缝缺陷老管道的完整性管理找到了一条可行的方法，现已根据这一成果对庆铁线开展了全面的内检测，然后根据检测结果进行系统的评价，根据评价结果进行针对性修复，大大的降低了管道运行风险，确保了俄油的输送，如果没有大量缺陷的修复，庆铁线将无法输送俄油，后果不堪设想！可以说，这是管道管理技术的一项革命性的突破。

在螺旋焊缝完整性管理方面的技术贡献等得到了国际认可

- “螺旋焊缝缺陷检测与评价技术在完整性管理中的应用”荣获“ASME2012年全球管道奖”
- 该奖项每年只奖励给行业内有特殊贡献的项目，一般都是TRANSCANDA、DNV等国外知名公司所得。

2010ＧＥ油气合作创新奖

2011集团公司科技进步一等奖

3 2010~2013年新建管道完整性技术及管理方法研究

➢ 解决问题

针对新建管道，管道制管和施工质量已经很高，但由于设计压力高、材料等级高等，出现了环焊缝裂纹、凹坑、划伤、针孔腐蚀和位移变形等新问题，主要存在两个方面问题：

- ✓ 缺陷尺寸小，检测困难
- ✓ 高等级钢缺陷的精准评价、修复技术

➢ 工作思路

- ✓ 通过实验，筛选高精度检测技术，研究设备的检测阈值和可靠性
- ✓ 通过实验提升评价的精准度和修复技术的可靠性

1）环焊缝缺陷的检测与评价技术研究

超声裂纹检测技术研究

漏磁检测技术研究

第一个国内承担的PRCI 项目

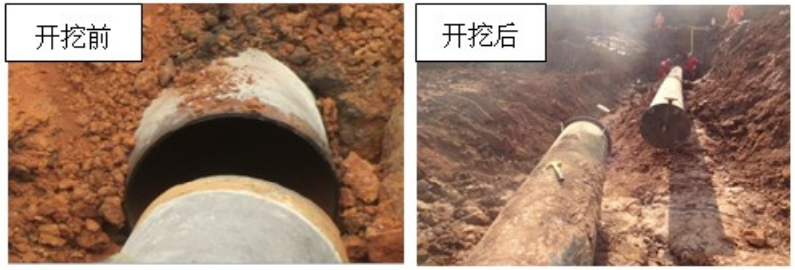


图 1-3 西二线湘潭支干线环焊缝断裂失效

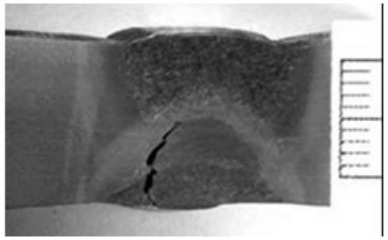


图 1-4 中贵线-铜梁段环焊缝泄漏失效

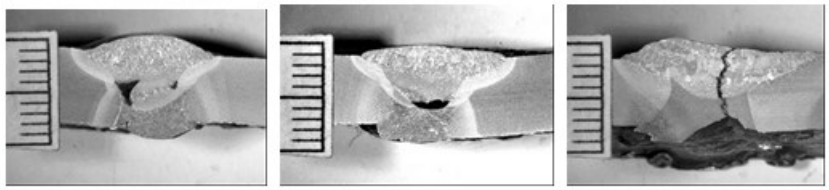


图 1-5 湘娄邵供气管道工程环焊缝开裂失效

图 1-1 漠大线环焊缝开裂

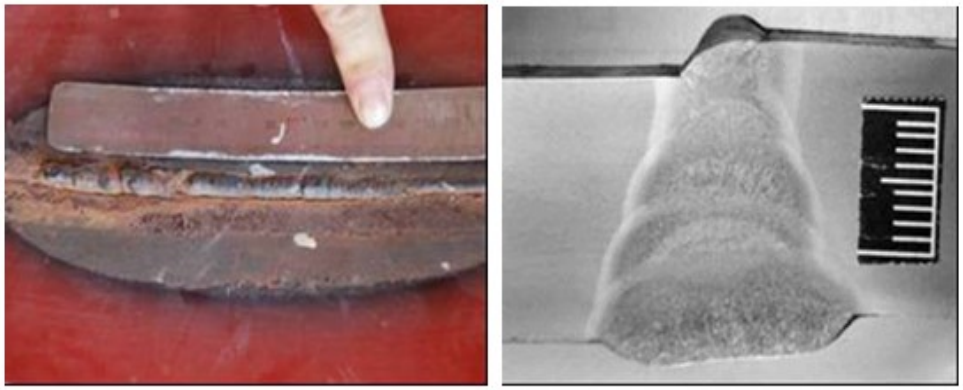


图 1-2 西二线彭家湾穿越段管道环焊缝失效

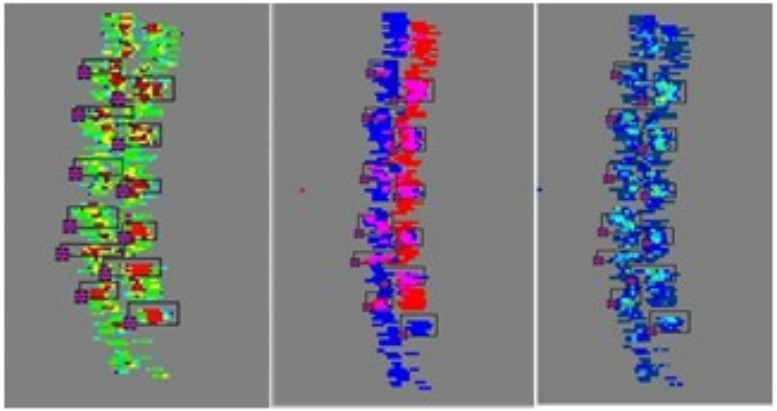
环焊缝缺陷牵拉试验

体积型环焊缝缺陷与金属损失校验环

裂纹型环焊缝缺陷

管体环向缺陷和其他缺陷

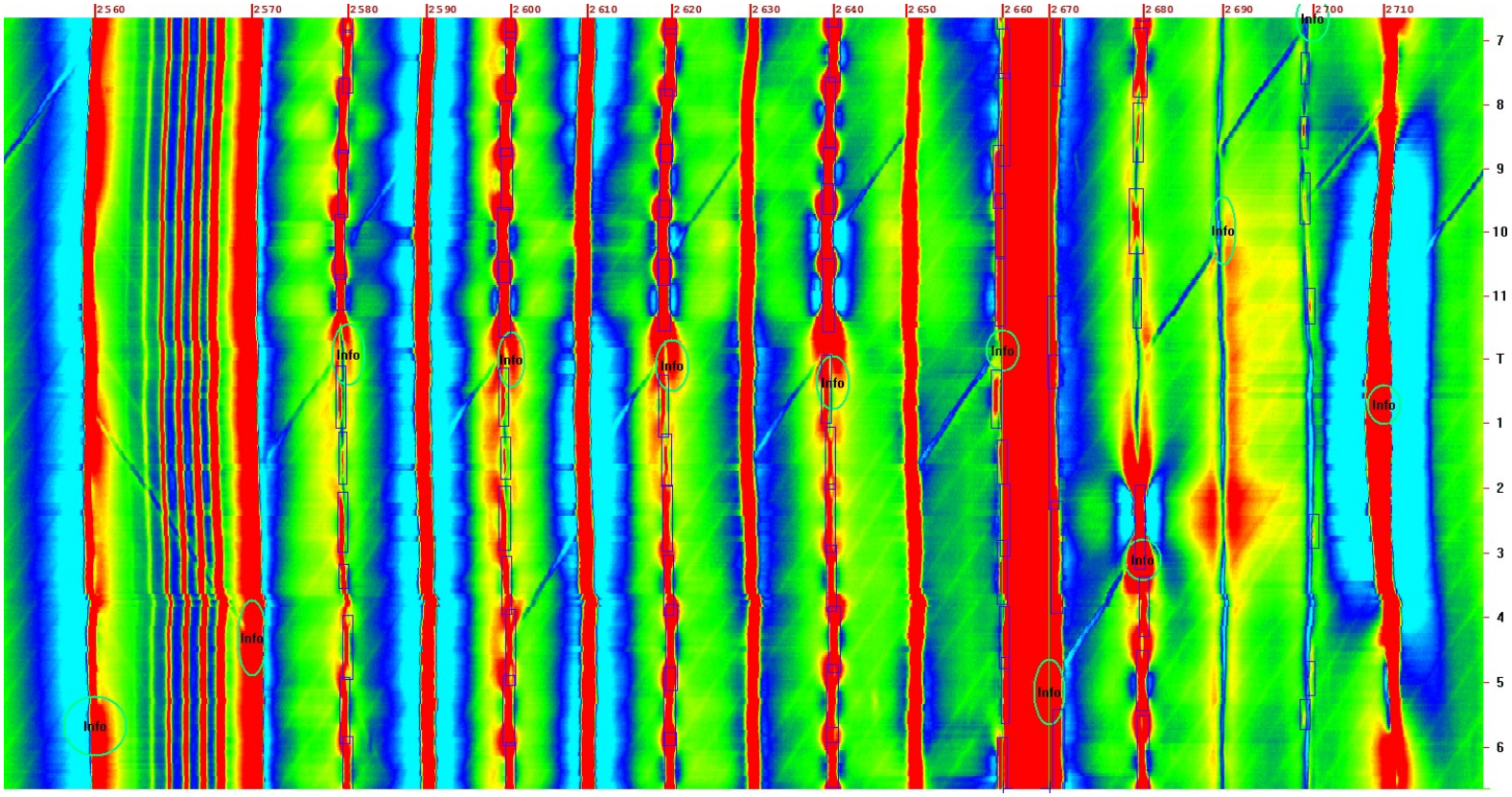
环焊缝缺陷内检测技术



超声裂纹检测器：针对环焊缝缺陷方向的检测器尚无研发，针对液体管道的环焊缝缺陷，研发了环焊缝缺陷方向的专用内检测器，并开展了数据分析、开挖验证等系列研究，取得一定的成果。

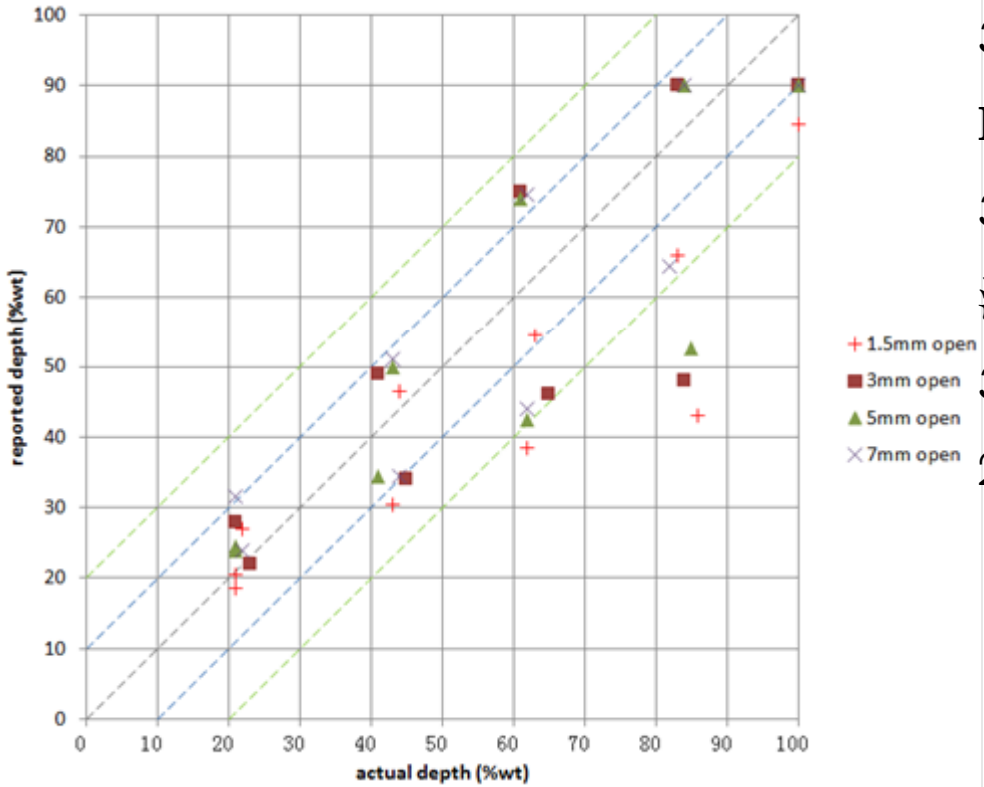
漏磁检测器：检测器较成熟，仅需开展缺陷与信号特征建模、可靠性等研究。

环焊缝缺陷牵拉试验



牵拉试验信号

环焊缝缺陷牵拉试验



管体环向缺陷的深度结果统计

37个管体环向缺陷

POD：

37个（100%）被报告

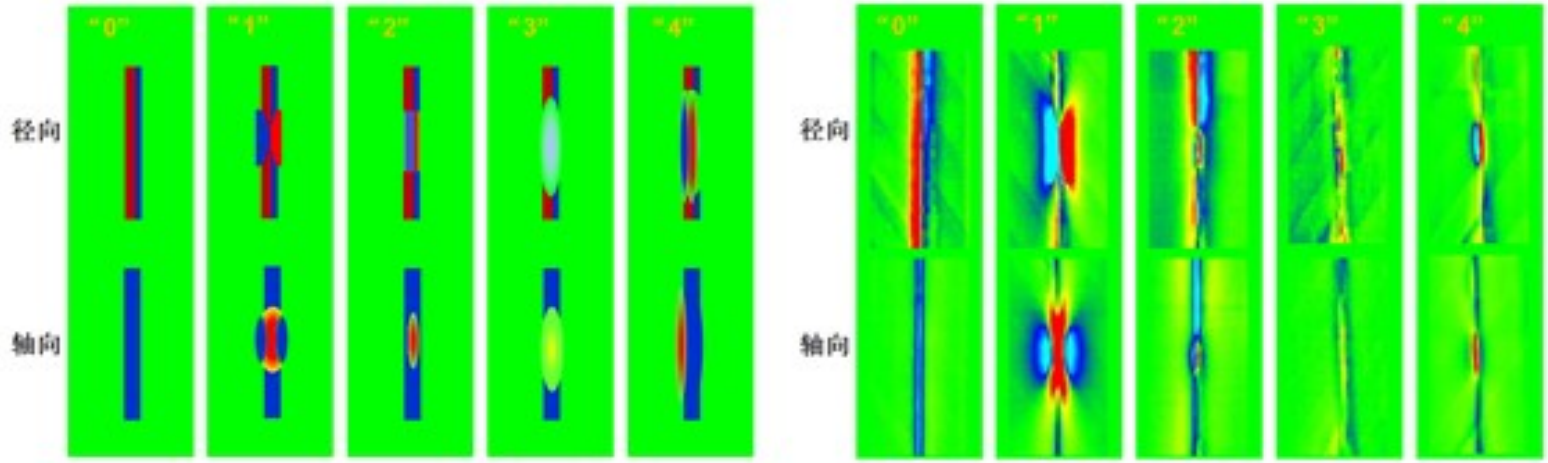
深度量化误差：

33个（89%）误差≤20%wt

21个（57%）误差≤10%wt

环焊缝缺陷信号分类

根据理论分析、有限元分析、牵拉试验和现场验证，将缺陷信号分为4类：未焊满、过度打磨以及部分严重未熔合、未焊透等；未熔合、未焊透；焊缝内凹、盖帽金属损失；侧壁过度打磨、较大错边或咬边。验证符合率超过75%。



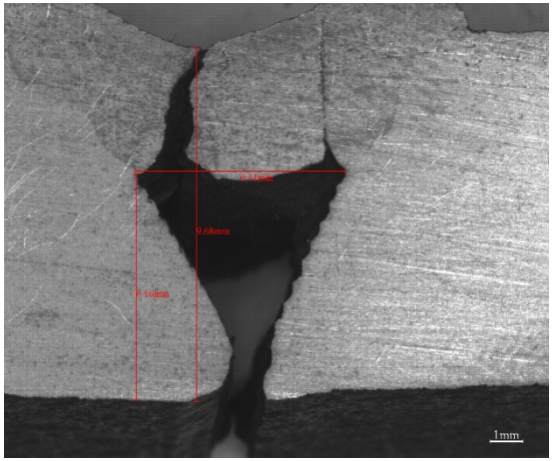
（a）信号分类示意图　　（b）真实缺陷信号

Φ813管道复合载荷爆破试验

在廊坊自主设计完成8次全尺寸复合载荷爆破试验。

试验装置

泄露失效



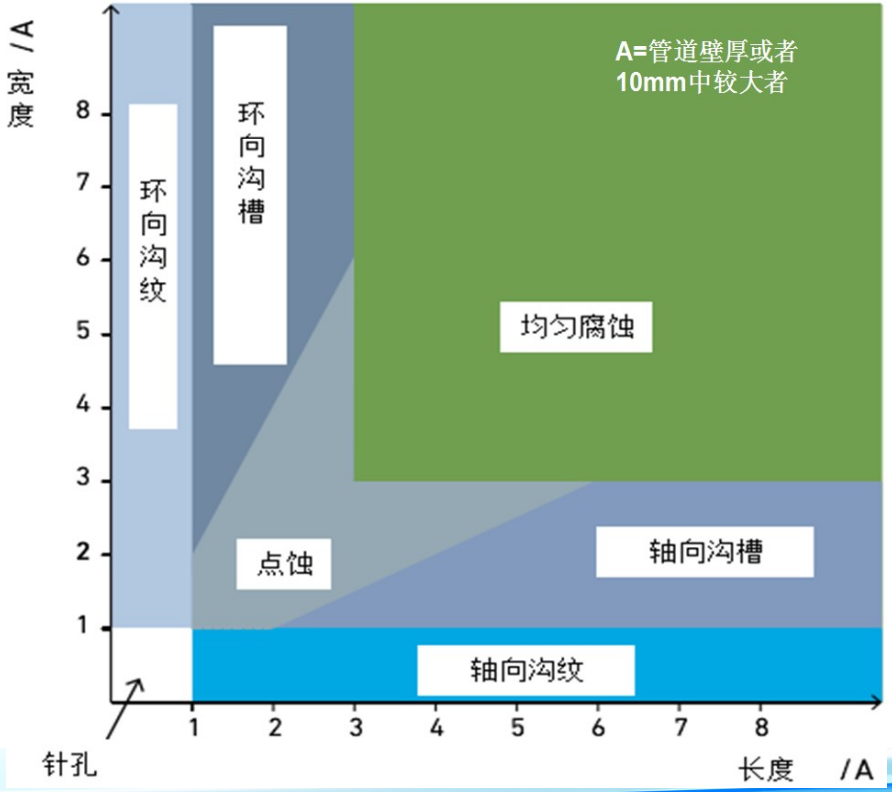
断口分析

2） 针孔类型缺陷检测技术研究

近年来发现，目前新建管道金属损失的特征相比于老管道，缺陷形貌及形成原因有了新的趋势，以不连续的点蚀或针孔为主，发展较为集中，呈指数型增长速度，不易预测。失效后不易发觉，潜在的环境污染风险很高，油品缓慢泄漏短时间内难以发现，很可能出现水体及土壤污染事件。目前针孔类型缺陷是内检测的难点之一。

表 4.2 泄漏点处（7 点钟）射线检测结果

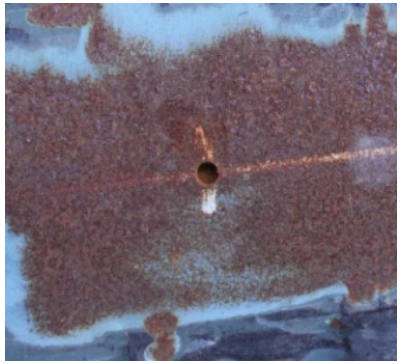
缺陷编号	管段编号	缺陷位置	缺陷描述
1	P1-A1	D1 上游 255mm	6mm 圆形缺陷
2	P1-A1	D1 上游 240mm	3mm 圆形缺陷
3	P1-A1	D1 上游 140mm	8mm 圆形缺陷
4	P1-A1	D1 渗水点	8mm 圆形缺陷
5	P1-A1	D2 喷水点	4mm 圆形缺陷
6	P1-A1	D2 下游 5mm	7mm 圆形缺陷
7	P1-A1	D2 下游 59mm	6 mm 圆形缺陷
8	P1-A2	D2 下游 205mm	6mm 圆形缺陷
9	P1-A2	D2 下游 567mm	5mm 圆形缺陷
10	P1-A3	D2 下游 867mm	9mm 圆形缺陷
11	P1-A3	D2 下游 910mm	11mm 圆形缺陷
12	P1-A3	D2 下游 1130mm	3mm 圆形缺陷
13	P1-A3	D2 下游 1517mm	2mm 圆形缺陷

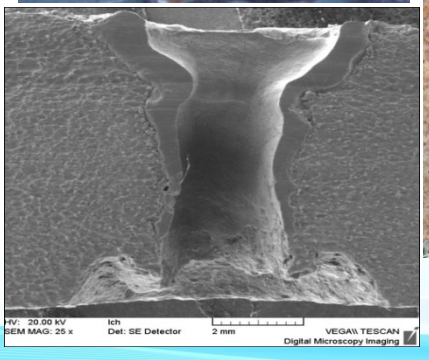


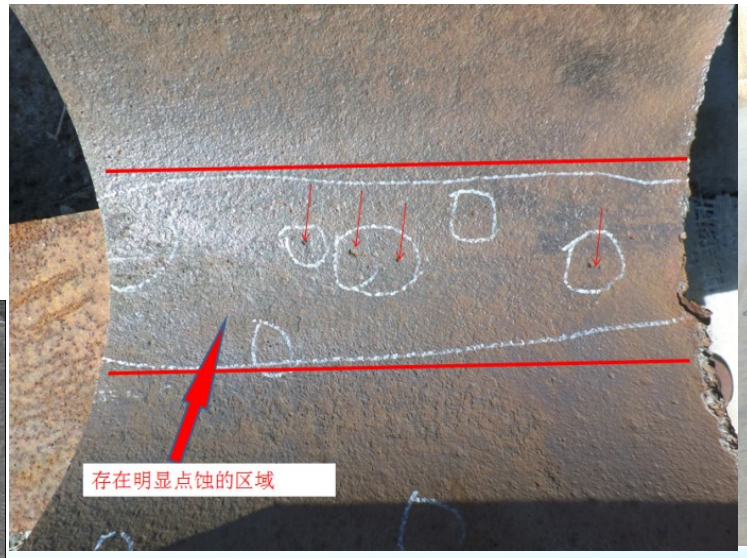
根据管道运营商论坛关于腐蚀类型的定义，很少有检测公司能明确给出针孔（腐蚀）缺陷的相关检测性能规格。

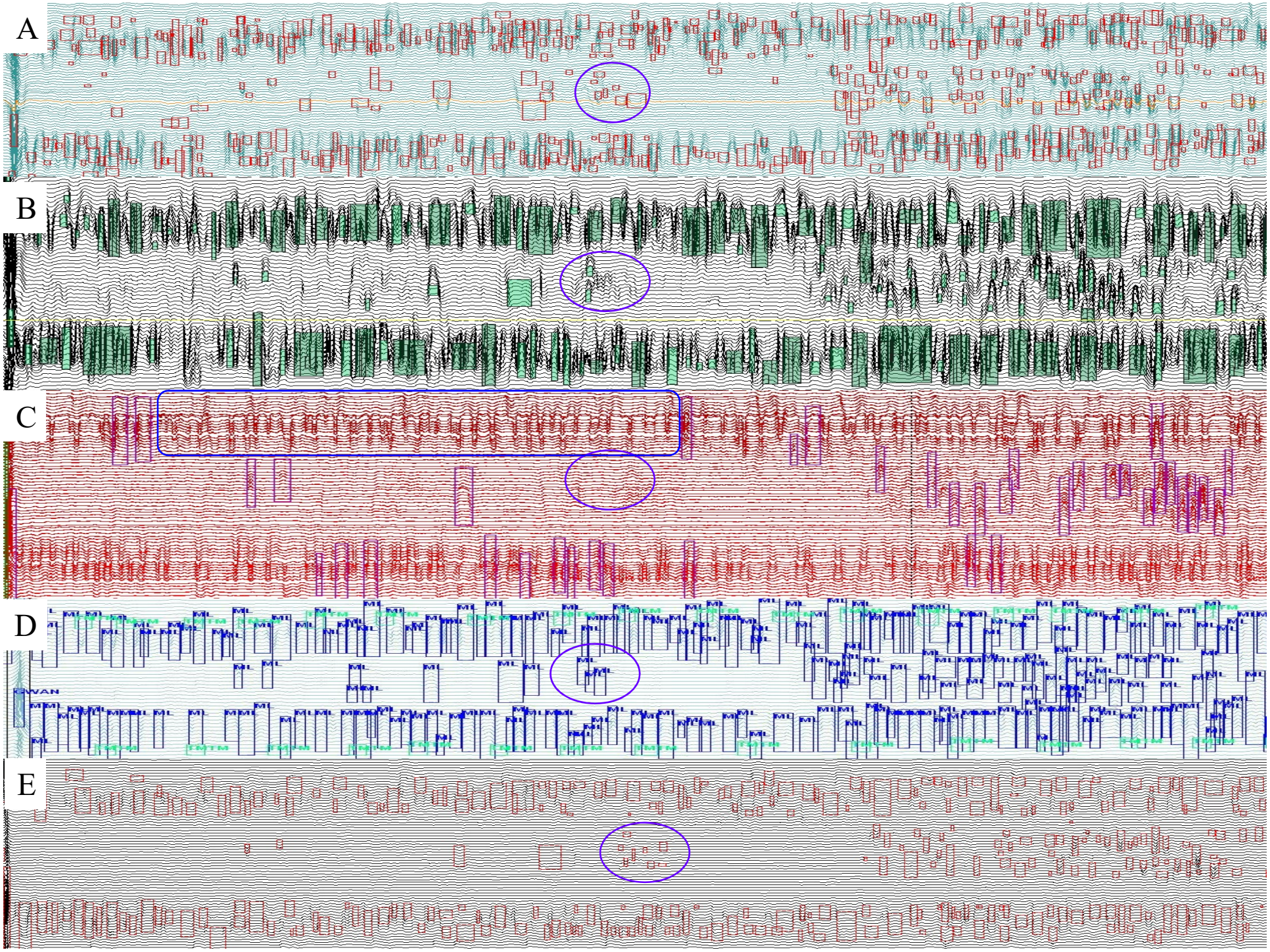
2015年管道公司以渭南支线更换的管道加工了针孔缺陷，组织进行了专门针对针孔腐蚀的内检测牵引试验，向国内外知名的检测公司及其代理发送了邀请函。应邀都已经完成现场牵引，均表示依据缺陷类型选择了三轴检测器参与。

成功申报第二个PRCI 项目。





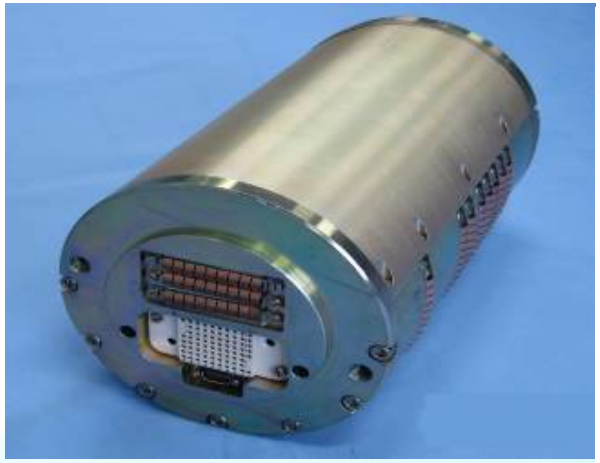



A
B
C
D
E

3）针对管道位移的研究

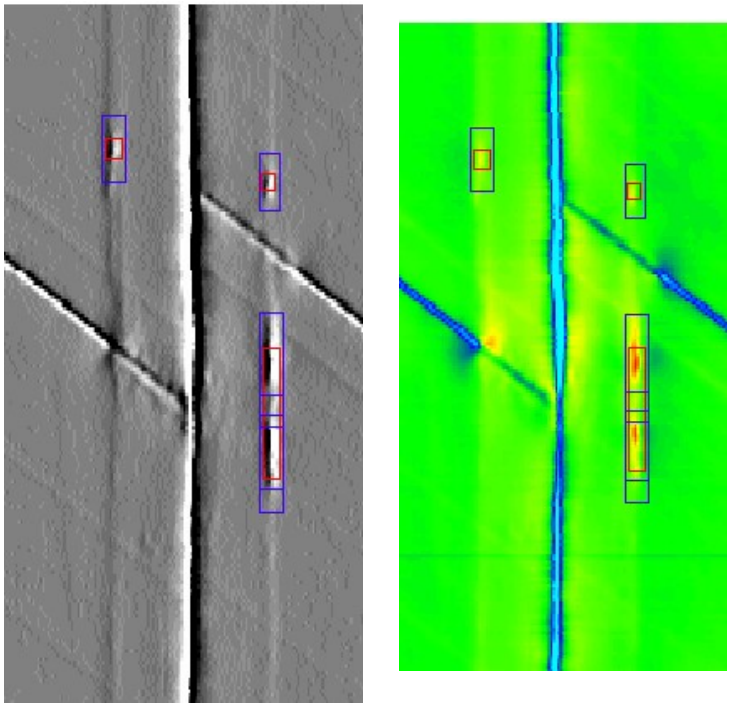
为了监测管道位移，研究开发了管道中心线检测（IMU）技术，制造了一套自主知识产权的检测设备，形成一套分析技术与软件。

利用中心线数据还可以实现对管道弯曲应变进行评价，使缺陷在复杂应力条件下，如运行压力和附加弯曲载荷共同作用下的完整性评价成为可能，提高了评价的可靠性。当前已经成功应用在漠大线等管道。

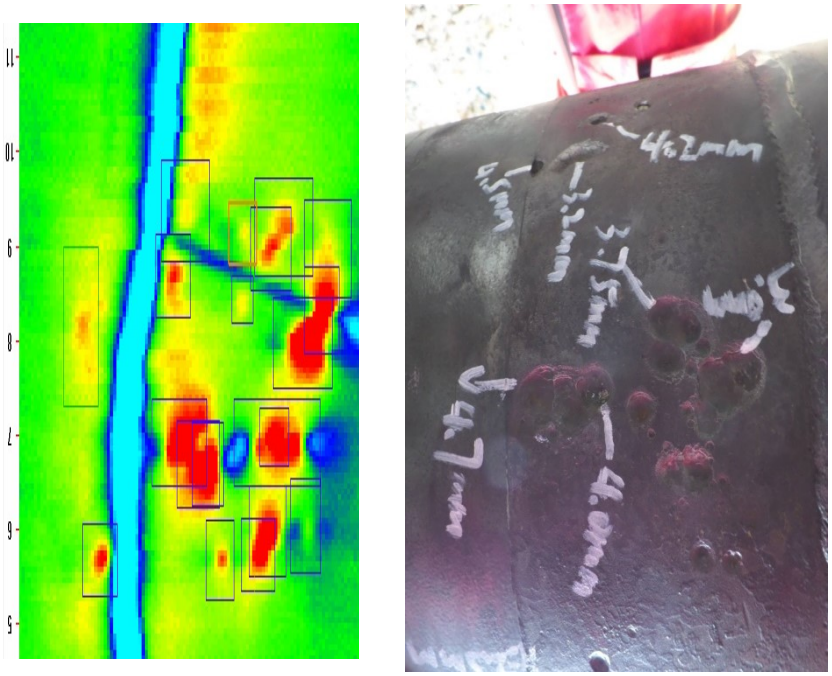


4）补口失效腐蚀

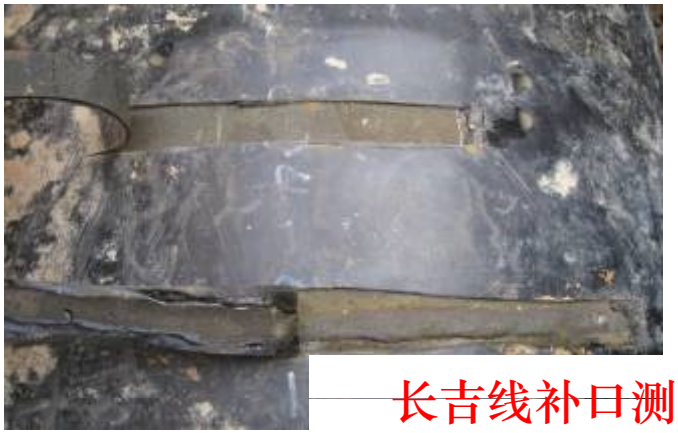
通过查看环焊缝附近内检测信号，发现管道环焊缝附近存在腐蚀迹象，判断可能补口存在不同程度失效情况。形成了补口失效漏磁内检测信号分析图谱，该技术发现了大量补口失效。



环焊缝附近腐蚀信号



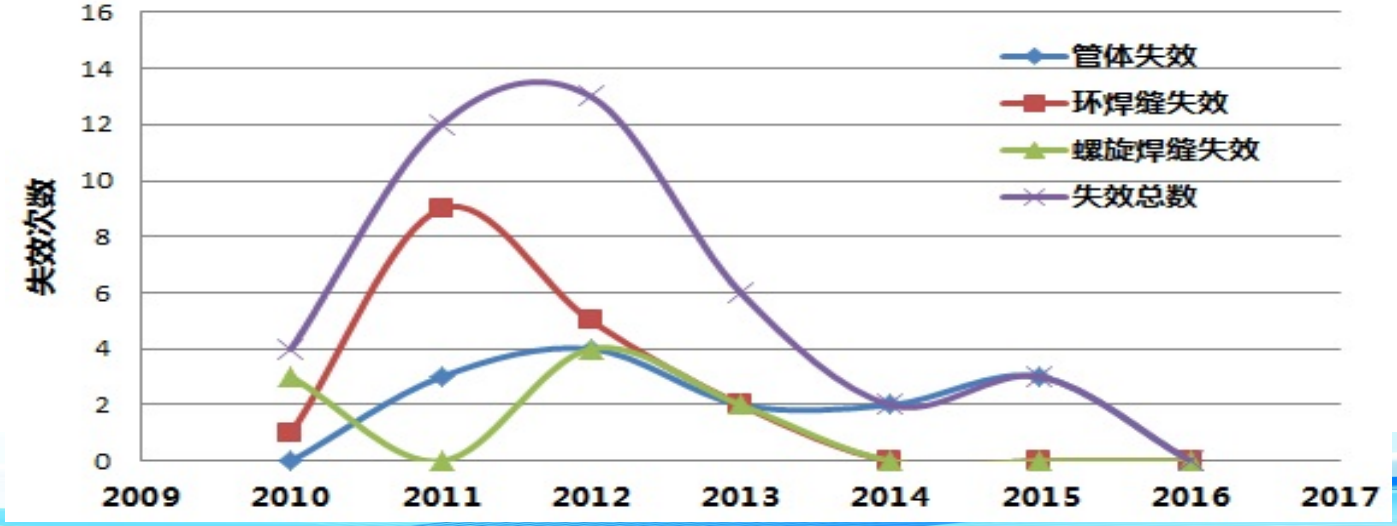
环焊缝两侧带状减薄信号



长吉线补口测试，失去粘结力

新大线补口验证，失去粘结力，剥离的补口防腐层上附着金属腐蚀物

近十余年主要从事管道完整性管理的技术研究和管理工作，开创性的为国内引进和搭建了系统的管道完整性管理技术、标准体系，使得国内全面实施管道完整性管理成为可能，多年来的技术应用实践证明该技术体系应用效果显著，管道本质安全得到持续提升。所负责的公司约1.5万公里管道，通过多年来持续的体系建设、内外检测、风险评价、完整性评价和基础数据管理等，不仅形成高效完备的管理体系，识别并消除大量隐患，而且彻底改变了新、老管道事故多发的状态，2014年比2013年事故率下降超过30%，2015年比2014年下降超过50%，2016年杜绝本体的泄漏事故，成效显著。



汇报提纲

一、管道完整性管理概要

二、管道完整性管理实践

三、管道完整性管理标准与法规

四、发展与讨论

4 管道完整性管理法律法规标准与监管现状

相关法规

①《中华人民共和国石油天然气管道保护法》

②《中华人民共和国特种设备安全法》

③《中华人民共和国安全生产法》

④《危险化学品输送管道安全管理规定》（**2012**年安监总局**43**号令）

⑤《在用工业管道定期检验规程》（国质检锅**[2003]108**号）

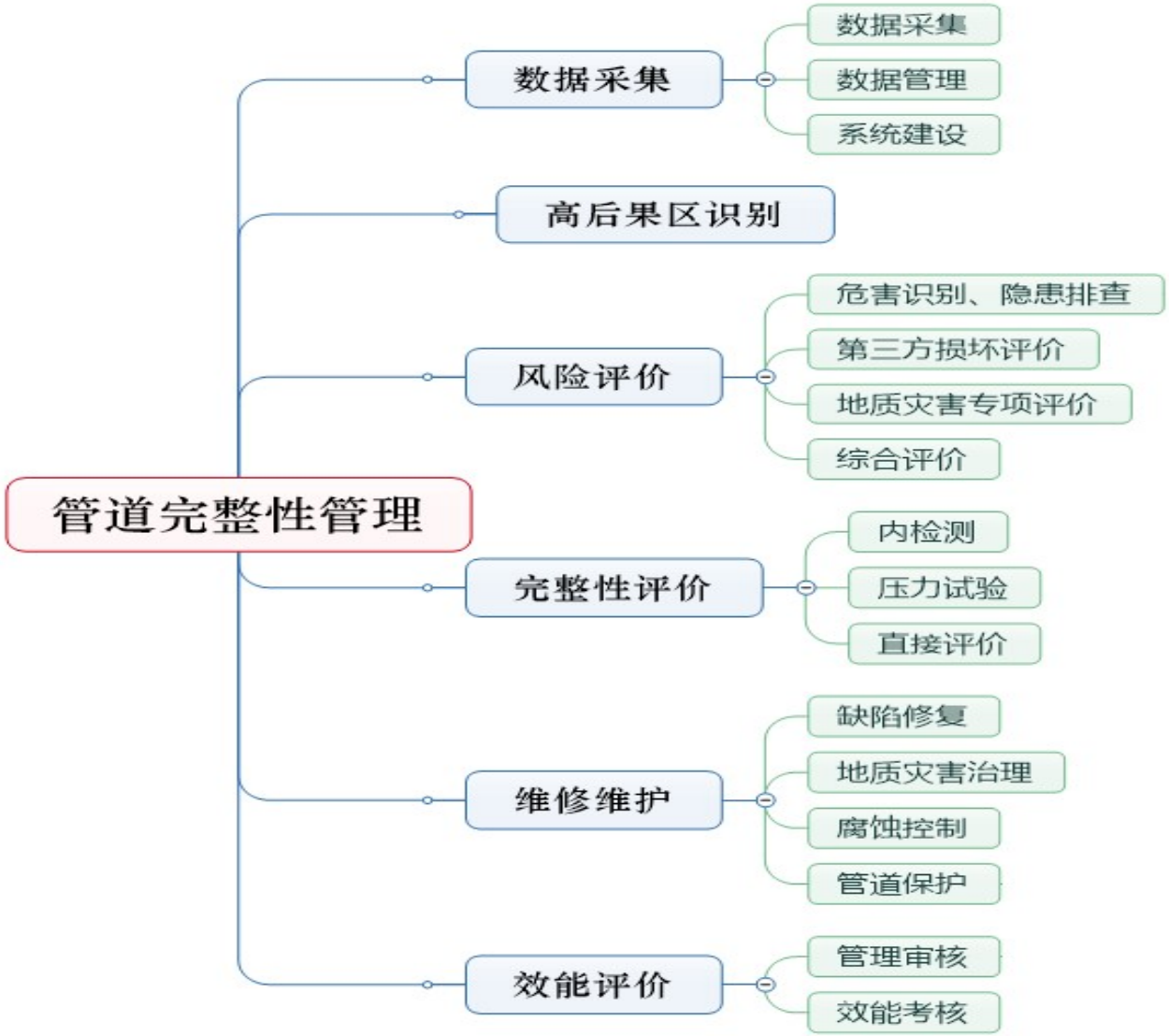
⑥《安全生产事故隐患排查治理暂行规定》（**2007**年安监总局**16**号令）

⑦《山东省石油天然气管道保护办法》等地方规章。

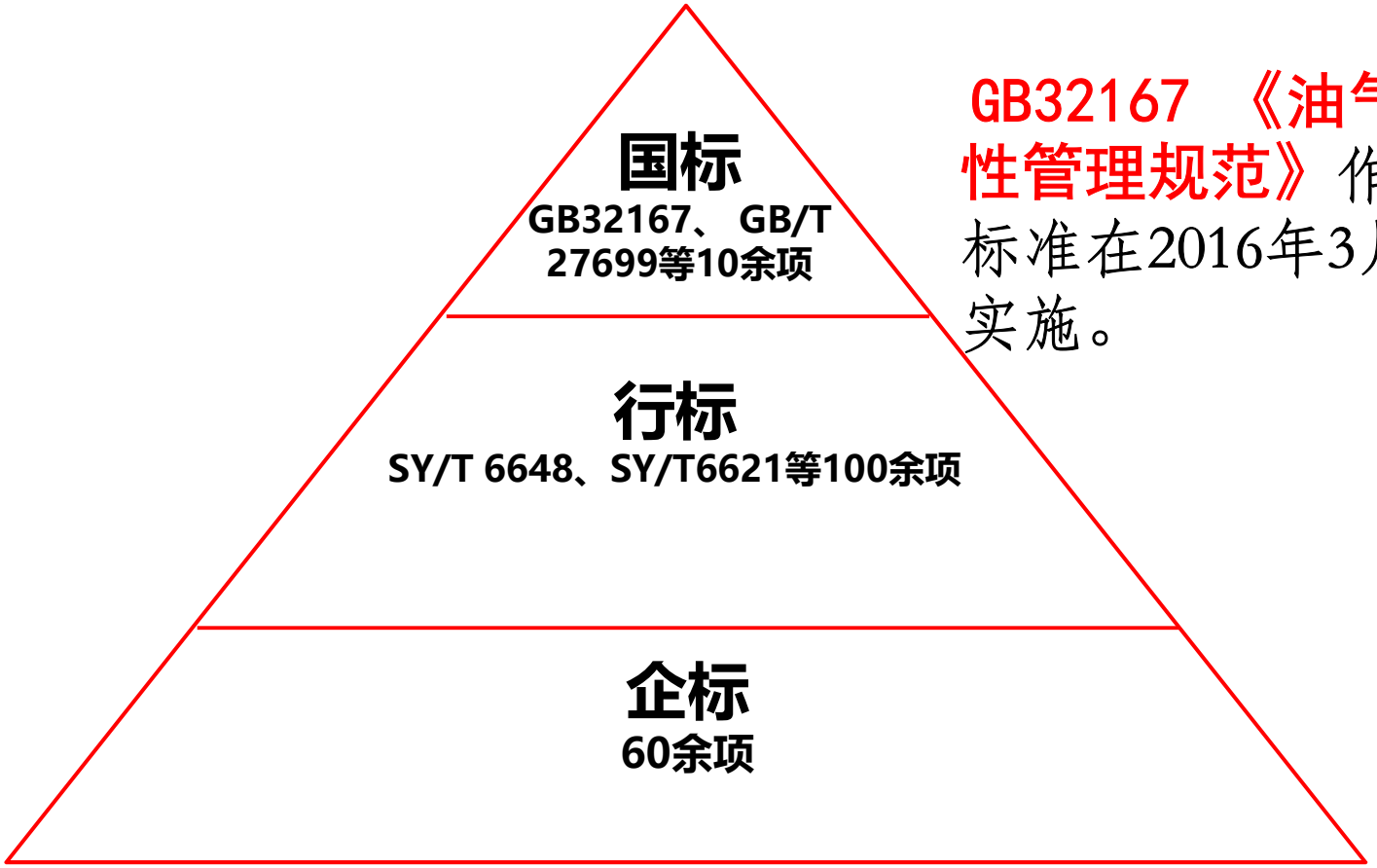
相关规范

TSG D 7003…

管道完整性管理17项业务活动



某管道企业的三级标准体系，由170余项标准组成，每年都制定、修订大量标准。

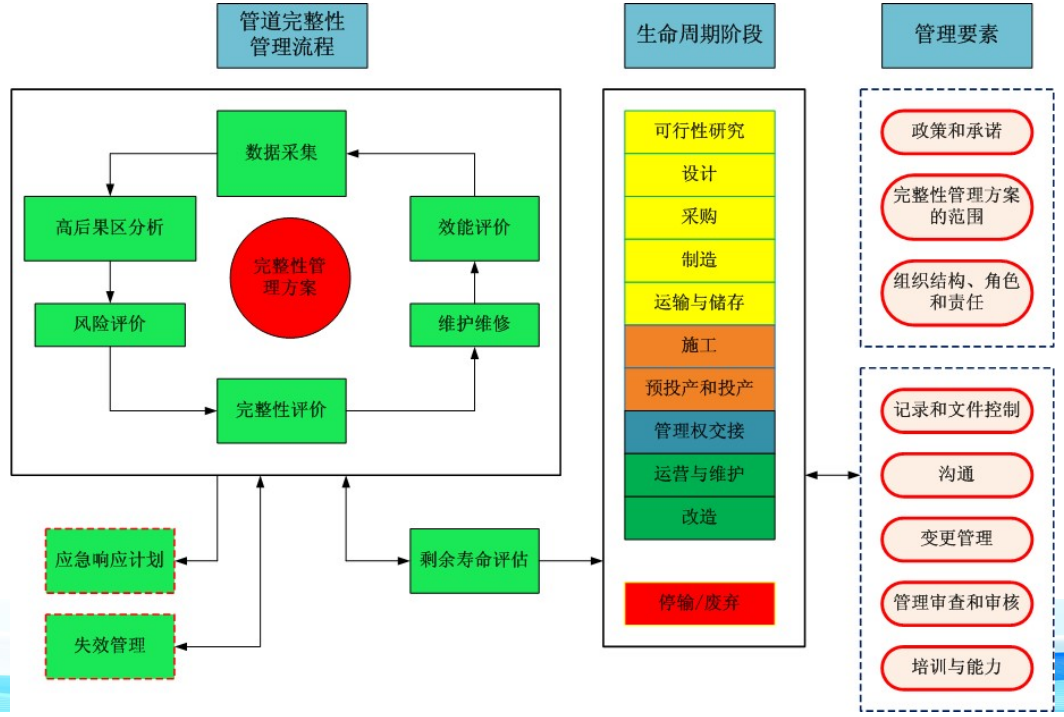


GB32167 《油气管道完整性管理规范》作为强制性标准在2016年3月1日正式实施。

➢ 当前现状

ISO19345-1/-2：2019《陆上及海上管道完整性管理规范》已经于2019年颁布；基本统一了北美、欧洲和亚洲各国对完整性管理定义、内容和流程等的认识。

ISO TC67/SC2 (国际标准化组织/石油、石化及天然气工业用材料、设备和海上结构标准化技术委员会/管道输送系统分技术委员会)委任为管道完整性管理标准工作组（WG21）召集人，这是国内管道领域首个在国际标准立项，并被认可为国际工作组召集人；



政府管理政策

青岛“11.22”以后，政府加强了对管道的监管，从历年发文可以看出监管的变化。

2013年12月5日

国务院安委会关于开展油气输送管线等安全专项排查整治的紧急通知 安委〔2013〕9号

2014年7月7日

国家安全监管总局办公厅关于调整油气管道安全监管职责的通知 安监总厅〔2014〕57号

2014年10月29日

国务院安全生产委员会 关于深入开展油气输送管道隐患整治攻坚战的通知 安委〔2014〕7号

政府管理政策

2015年4月7日

质检总局关于印发质检系统开展油气输送管道隐患整治攻坚战工作方案的通知 国质检特〔2015〕130号

2015年7月23日

国务院安全生产委员会关于印发《**油气输送管道保护和安全监管职责分工**》**和**《**2015年油气输送管道隐患整治攻坚战工作要点**》的通知 安委〔2015〕4号

2016年5月6日

国务院安全生产委员会关于印发《2016年油气输送管道安全隐患整治攻坚战工作要点》的通知 安委〔2016〕6号

政府管理政策

2016年10月18日

国务院发改委等五部委关于贯彻落实国务院安委会工作要求全面推行油气输送管道完整性管理的通知 发改能源[2016]2197号

2016年11月23日

质检总局等三部委 质检总局国资委能源局关于规范和推进油气输送管道法定检验工作的通知 国质检特联[2016]560号

2017年2月15日

国家能源局综合司关于开展油气管道保护信息报送工作的通知 国能综字[2017]130号

2017年12月

国家安全监管总局等八部门关于加强油气输送管道途经人员密集场所高后果区安全管理工作的通知（安监总管三〔2017〕138号）

政府管理政策

2016年10月18日

国务院发改委等五部委关于贯彻落实国务院安委会工作要求全面推行油气输送管道完整性管理的通知

发改能源[2016]2197号

按照《国务院安全生产委员会关于印发2016年油气输送管道安全隐患整治攻坚战工作要点的通知》（安委[2016]6号）要求，依据《石油天然气管道保护法》和《油气输送管道完整性管理规范》（GB32167-2015）（以下简称《管理规范》）等相关标准规范，为持续做好油气输送管道安全管理，保障油气输送管道安全平稳运行，有效防范管道事故发生，全力维护人民群众生命财产安全，现就全面推行油气输送管道全生命周期完整性管理提出以下要求：

政府管理政策

中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于全面加强危险化学品安全生产工作的意见》

2020年2月

中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于全面加强危险化学品安全生产工作的意见》，并发出通知，要求各地区各部门结合实际认真贯彻落实。

第五条中“督促企业大力推进油气输送管道完整性管理，加快完善油气输送管道地理信息系统，强化油气输送管道高后果区管控。严格落实油气管道法定检验制度，提升油气管道法定检验覆盖率。”

政府管理政策

一、明确目标，建立完善工作体系

建立完善油气输送管道完整性管理体系，加强管道完整性数据管理，不断识别和评价管道风险因素，采取有效风险消减措施，确保管道结构功能完整、风险受控，减少和预防管道事故发生，实现管道安全、可靠、经济运行。

政府管理政策

二、提高认识，加强组织领导

（一）各省（区、市）人民政府负责油气输送管道保护的有关部门要充分认识管道完整性管理的重要作用，将管道完整性管理作为持续改进提高油气输送管道管理水平的重要手段，严格落实属地管理职责，加强监督检查、评价考核工作，指导管道企业依法依规认真开展新旧管道的完整性管理。

（二）各管道企业要高度重视，切实加强完整性管理工作的组织领导，明确完整性管理的负责部门和职责要求，配备专业人员，制定完整性管理方案，将完整性管理融入日常安全生产管理工作当中，认真组织实施。坚持持续改进的科学管理思维，结合管道特点，开展动态完整性管理，夯实管道安全基础工作，为管道保护和安全管理创造有利条件。

政府管理政策

三、扎实推行，落实企业主体责任

（一）各管道企业要加强管道完整性数据管理，在依法开展管道监督检验和定期检验的基础上，做好管道数据的采集、整合和对齐工作，对所有与管道完整性管理相关的信息进行分析和整合，及时更新数据数量和类型，建立以完整性管理数据为技术支撑的管道保护体系，不断满足安全生产管理的需求。

（二）各管道企业要将完整性管理工作和生产活动紧密结合，建立相应技术框架和管理构架。按《管理规范》要求，开展高后果区识别、风险评价和完整性评价，制定风险管理方案，采取安全保护措施和风险消减措施，开展针对性维修维护工作，加强管道日常管理与巡护，依法开展管道检验检测工作，有效落实管道全生命周期完整性管理，确保管道本体安全。

政府管理政策

三、扎实推行，落实企业主体责任

（三）各管道企业要加强应急管理，充分发挥完整性管理的应急支持作用，将高后果区识别、风险评价和完整性评价结论提出的高风险段、高风险因素和缺陷情况作为应急预案编制过程中的重点预控对象，加强应急数据准备，健全应急措施，做好应急资源准备，最大限度的预防和减少突发事件对周边人民群众生命财产和管道造成的危害。

政府管理政策

四、规范管理，建立长效管理机制

（一）各管道企业要结合自身运营管理和管道实际情况，对照《管理规范》制定系统、全面的完整性管理方案，明确工作重点和措施。加强规范化管理，通过定期开展效能评价评估完整性管理的有效性，不断发现和改进存在的不足。规范数据采集流程、内容和方法，建立完整性管理数据台账。规范记录与文档管理，确保管道数据的准确性、时效性和可追溯性。

政府管理政策

（二）各管道企业要把完善落实管理制度作为切入点，制定完整性管理配套体系文件和技术文件，建立完整性管理体系，落实常态化检验检测评价机制。制定培训计划，认真开展完整性管理培训和国标宣贯活动，提高企业全员安全生产素质和能力。

请各管道企业认真组织开展油气输送管道完整性管理，切实强化组织领导，积极抓好工作落实。中央企业请于10月20日前，向国家能源局报送完整性管理实施计划。国家能源局将联合相关部门适时开展检查，督促全面推行管道完整性管理。

政府管理政策

已经由传统的管理转变到完整性管理，抓关键环节。

一、管道完整性管理的性质发展了重大转变——管道完整性管理从企业的自主行为转变为政府强制性要求

二、管道监管模式发生了质的转变——政府监管从事故监管向事故预防措施监督转变

三、企业管道管理与政府监管内容向一体化转变——企业的管理行为也就是政府监管的主要内容

汇报提纲

一、管道完整性管理概要

二、管道完整性管理实践

三、管道完整性管理标准与法规

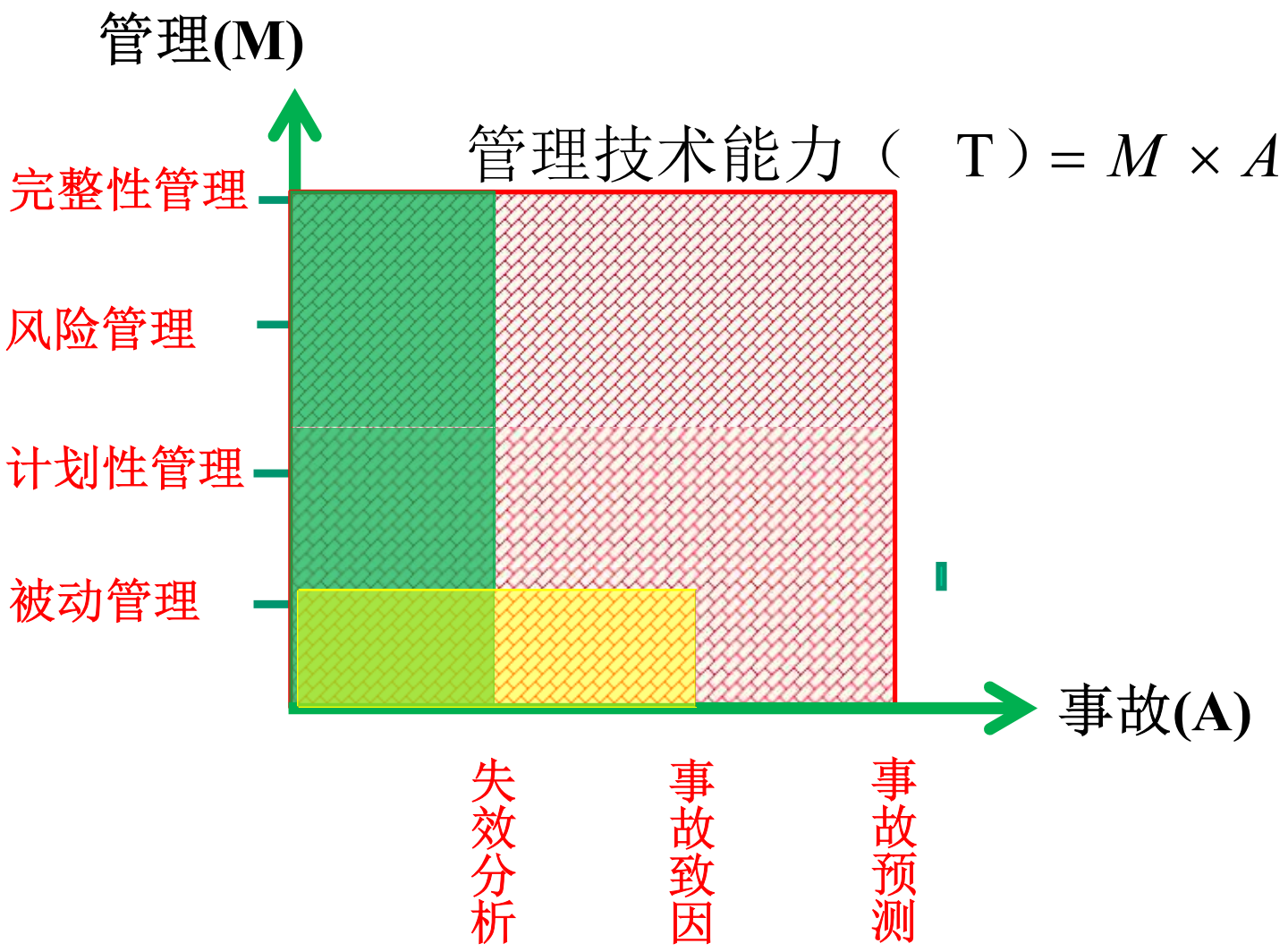
四、发展与讨论

四、发展与讨论

技术难题

事故是完整性技术发展的动力，事故致因是完整性技术的基础，基于事故致因可以知道正确的预测和评价技术。

基础研究是不可逾越的技术壁垒！


管理(M)
管理技术能力（ T）= M × A
完整性管理
风险管理
计划性管理
被动管理
事故(A)
失效分析
事故致因
事故预测

$$I = O(s, e)$$

I,完整性管理（Integrity management）

O，使最优化（Optimize）

S，安全（Safety）

E，经济（Economy）

最优解：安全S 经济E

积德行善

只有共享、没有竞争

一套思维模式、逻辑体系

行路悟知

不断的学习、探索、实践、提高是我们不变的主题

行路悟知

事务无完整，
诸法因缘起。
沧桑是正道，
实践出真知。

Thank you
Any questions?

冯庆善
手机:+86-13503168571
微信：18031636226
E-MAIL: qsfeng@petrochina.com.cn